

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**САПР автоматизации  
технологических процессов**

Комплекс тестовых материалов  
для интерактивного обучения в системе MOODLE

Автор-составитель: **Лофицкий Игорь Вадимович, Матюнин Сергей Александрович**

**САПР автоматизации технологических процессов** [Электронный ресурс] : комплекс тестовых материалов для интерактив. обучения в системе MOODLE / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. И. В. Лофицкий, С.А.Матюнин. - Электрон. текстовые и граф. дан. (797 Кбайт). - Самара, 2012. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В комплексе тестовых материалов содержатся теоретические сведения и тесты, отражающие особенности построения САПР автоматизации технологических процессов.

Предназначены для бакалавров направления подготовки 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств» радиотехнического факультета, изучающих дисциплину «Основы автоматизированного проектирования средств автоматизации» в 7 семестре.

Материалы разработаны на кафедре электронных систем и устройств.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2012

# ЛЕКЦИЯ 1: Основы автоматизированного проектирования конструкций и технологических процессов производства РЭС

## 1. Сущность процесса проектирования

Сущность процесса *проектирования* РЭС заключается в разработке конструкций и технологических процессов производства новых радиоэлектронных средств, которые должны с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполнять предписанные им функции в требуемых условиях.

*Проектирование* любого технологического объекта — создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами в процессе взаимодействия человека и ЭВМ. В любом случае инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности общества в некоторых технических объектах, которыми могут быть объекты производства РЭС, промышленные изделия или процессы. Проектирование включает в себя разработку технического предложения и (или) технического задания (ТЗ), отражающих эти потребности, и реализацию ТЗ в виде проектной документации [1].

Обычно ТЗ представляют в виде некоторых документов, и оно является исходным (первичным) описанием объекта. Результатом *проектирования*, как правило, служит полный комплект документации, содержащий достаточные сведения для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект, точнее окончательное описание объекта. Следовательно, проектирование — процесс, заключающийся в получении и преобразовании исходного описания объекта в окончательное описание на основе выполнения комплекса работ исследовательского, расчетного и конструкторского характеров.

Наиболее общим подходом к проектированию является системный подход [2]. В результате проектирования создаются новые, более совершенные РЭС, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более высокой эффективностью за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более совершенной элементной базы и структуры, улучшенных конструкций и прогрессивных технологических процессов.

По степени новизны проектируемых изделий различают следующие задачи проектирования:

- частичная модернизация существующего РЭС (изменение его параметров, структуры и конструкции), обеспечивающая сравнительно небольшое (несколько десятков процентов) улучшение одного или нескольких показателей качества для оптимального решения тех же или новых задач;
- существенная модернизация, которая предполагает значительное улучшение (в несколько раз) показателей качества;
- создание новых РЭС, основанных на новых принципах действия, конструирования и производства для резкого увеличения (на несколько порядков) показателей качества при решении тех же или существенно новых задач.

Проектирование является сложным многоэтапным процессом, в котором могут принимать участие большие коллективы специалистов, целые институты и научно-производственные объединения, а также организации заказчиков, которым предстоит эксплуатировать разработанную аппаратуру.

С точки зрения последовательности выполнения различают основные стадии проектирования:

- **предварительное проектирование**, результатом которого являются технические предложения (аван-проект). Эта стадия в наибольшей степени насыщена элементами научного поиска, теоретическими расчетами, экспериментальными исследованиями. Они завершаются обычно созданием лабораторных макетов;
- **эскизное проектирование**, результатом которого является эскизный проект. На этой стадии усилия разработчиков во многом направлены на поиски эффективных конструкторских решений. Она также связана с большим объемом теоретических изысканий, сложных расчетов и заканчивается созданием экспериментального образца проектируемого изделия и его тщательными экспериментальными исследованиями;
- **техническое проектирование**, при котором выполняется тщательная проработка всех схемных, конструкторских и технологических решений. На стадии технического проектирования создается техническая документация на разрабатываемую аппаратуру и процессы ее производства. Итогом являются *технический проект*, содержащий необходимую документацию, и опытный образец изделий, прошедший всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации.

С точки зрения содержания решаемых задач процесс проектирования разбивают на следующие этапы:

- **системотехническое проектирование**, при котором выбираются и формулируются цели *проектирования*, обосновываются исходные данные и определяются принципы построения системы. При этом формируется структура проектируемого объекта, его составных частей, которыми обычно являются функционально завершённые блоки, определяются энергетические и информационные связи между составными частями. В результате формируются и формулируются частные технические задания на *проектирование* отдельных составных частей объекта;
- **функциональное проектирование**, применительно к РЭС называемое также схемотехническим, имеет целью аппаратную реализацию составных частей системы (комплексов, устройств, узлов). При этом выбирают элементную базу, принципиальные схемы и оптимизируют параметры (осуществляют структурный и *параметрический синтез* схем) с точки зрения обеспечения наилучшего функционирования и эффективного производства. При выборе элементной базы и *синтезе* схем стремятся учитывать конструкторско-технологические требования;
- **конструирование**, называемое также техническим проектированием, решает задачи компоновки схем и размещения элементов и узлов, осуществления печатных и проводных соединений для РЭС всех уровней (модулей, ячеек, блоков, шкафов), а также задачи теплоотвода, электрической прочности, защиты от внешних воздействий и т. п. При этом стремятся оптимизировать принимаемые решения по конструктивно-технологическим, экономическим и эксплуатационным показателям. На этом этапе проектирования разрабатывают техническую документацию, необходимую для изготовления и эксплуатации РЭС;
- **технологическая подготовка** производства обеспечивает разработку технологических процессов изготовления отдельных блоков и всей системы в целом. На этом *этапе проектирования* создается технологическая документация на основе предшествующих результатов.

Каждый этап проектирования сводится к формированию описаний проектируемого РЭС, относящихся к различным иерархическим уровням и аспектам его создания и работы. Этапы проектирования состоят из отдельных проектных процедур, которые заканчиваются частным проектным решением.

Типичными для проектирования РЭС процедурами являются анализ и синтез описаний различных уровней и аспектов.

Процедура **анализа** состоит в определении свойств заданного (или выбранного) описания. Примерами такой процедуры могут служить расчет частотных или переходных характеристик электронных схем, определение реакции схемы на заданное воздействие. Анализ позволяет оценить степень удовлетворения проектного решения заданным требованиям и его пригодность.

Процедура **синтеза** заключается в создании проектного решения (описания) по заданным требованиям, свойствам и ограничениям. Например, широко используются при проектировании РЭС процедуры синтеза электронных схем по их заданным характеристикам в частотной или временной области. При этом в процессе синтеза может создаваться структура схемы (структурный синтез) либо определяться параметры элементов заданной схемы, обеспечивающие требуемые характеристики (параметрический синтез).

Процедуры анализа и синтеза в процессе проектирования тесно связаны между собой, поскольку обе они направлены на создание приемлемого или оптимального проектного решения.

Типичной проектной процедурой является оптимизация, которая приводит к оптимальному (по определенному критерию) проектному решению. Процедура оптимизации состоит в многократном анализе при целевом изменении параметров схемы до удовлетворительного приближения к заданным характеристикам. Оптимизация обеспечивает создание (синтез) проектного решения, но включает поэтапную оценку характеристик (анализ).

Проектные процедуры состоят из отдельных проектных операций. Такие операции могут иметь обособленный характер, но в целом они образуют единую проектную процедуру.

Проектные процедуры и операции выполняются в определенной последовательности, называемой **маршрутом проектирования**.

**Маршруты проектирования** могут начинаться с нижних иерархических уровней описаний (восходящее проектирование) либо с верхних (нисходящее проектирование).

Между всеми этапами проектирования существует глубокая взаимосвязь. Так, определение окончательной конструкции и разработка всей технической документации часто не могут быть выполнены до окончания разработки технологии. В процессе конструирования и разработки технологии может потребоваться коррекция принципиальных схем, структуры системы и даже исходных данных. Поэтому процесс проектирования является не только

многоэтапным, но и многократно корректируемым по мере его выполнения, т. е. проектирование носит итерационный характер.

В процессе проектирования необходимо не просто создать аппаратуру, которая будет обеспечивать заданное функционирование, но и оптимизировать ее по широкому спектру функциональных, конструкторско-технологических, эксплуатационных и экономических показателей. На отдельных этапах для отдельных частных задач оптимизацию можно осуществить на основе разработанных формальных математических методов. Однако применительно к комплексным РЭС задача оптимизации часто не поддается формализации. Встречаясь с такой ситуацией, разработчики обычно рассматривают несколько вариантов решения поставленной задачи, подсказанных, как правило, предшествующим коллективным опытом, интуицией, и выбирают лучший из них. Такой подход называется эвристическим многовариантным анализом. Однако в связи с все возрастающей сложностью РЭС, с повышением требований к ним необходимые расчеты оказываются все более трудоемкими, а количество вариантов, целесообразных для рассмотрения, постоянно возрастает. В результате возникает противоречие между традиционным подходом к проектированию и сложности современных радиоэлектронных средств. Указанное противоречие и вызвало интенсивное развитие новой технологии проектирования РЭС.

Такое развитие базируется на системном подходе и совершенствовании процессов проектирования с применением математических методов и средств вычислительной техники, комплексной автоматизации трудоемких и рутинных проектных работ, замены макетирования и натурального моделирования математическим моделированием, использованием эффективных методов многовариантного проектирования и оптимизации, а также повышением качества управления проектированием.

## **2. Методология системного подхода к проблеме проектирования сложных систем**

Системный подход позволяет найти оптимальное, в широком смысле, решение задачи проектирования за счет всестороннего, целостного рассмотрения как проектируемого изделия, так и самого процесса проектирования, и способен привести к подлинно творческим новаторским решениям, включая крупные изобретения и научные открытия.

Главным средством автоматизации проектирования являются ЭВМ и управляемые ими другие технические средства, которые создают

необходимую основу для полной реализации потенциальных возможностей системного подхода.

Сущность системного подхода состоит в том, что объект проектирования или управления рассматривается как система, т.е. как единство взаимосвязанных элементов, которые образуют единое целое и действуют в интересах реализации единой цели. Системный подход требует рассматривать каждый элемент системы во взаимосвязи и взаимозависимости с другими элементами, вскрывать закономерности, присущие данной конкретной системе, выявлять оптимальный режим ее функционирования. Системный подход проявляется прежде всего в попытке создать целостную картину исследуемого или управляемого объекта. Исследование или описание отдельных элементов при этом не является самодовлеющим, а производится с учетом роли и места элемента во всей системе [3].

Методическим средством реализации системного подхода к исследованию, проектированию или управлению сложным процессом служит системный анализ, под которым понимается совокупность приемов и методов исследования объектов (процессов) посредством представления их в виде систем и их последующего анализа.

Всякая система общается с внешней средой, имеет входы  $X_i$  и выходы  $P_{из}$  нее (рис. 11) [2].

Входами могут быть: состав комплектующих элементов с их параметрами; параметры пленки при производстве транзисторов и т. д.; выходами могут быть показатели качества готовой продукции (надежность РЭС, процент выхода годных приборов и т. п.).

Система обычно подвержена возмущениям  $Z$ ; для их компенсации, для того чтобы система работала в нужном режиме, используют управляющие воздействия  $U$  (электрические непрерывные и дискретные сигналы, различные механические воздействия и т. д.) [2].



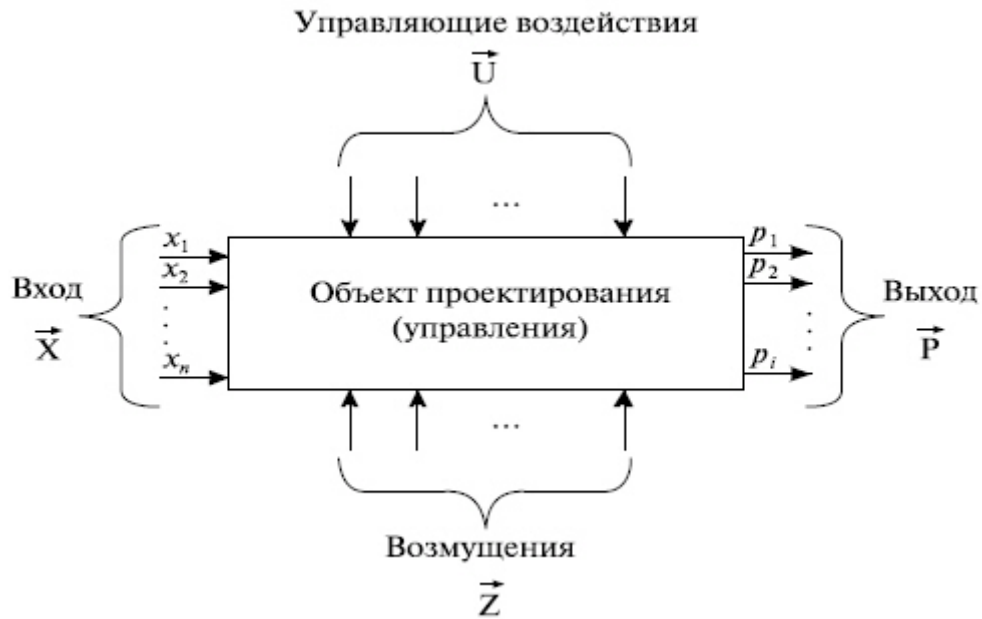


Рис. 1. Простейшая структура объекта проектирования

Следовательно, системными объектами являются параметры изучаемой системы: вход, процесс, выход, цель, обратная связь и ограничения. Под действием системных объектов понимается качество параметров объектов. Свойства позволяют количественно описывать объекты, выражая их в присущих им единицах, обладающих определенной размерностью.

Если элементы накладывают взаимные ограничения на поведение друг друга, это свидетельствует о том, что между ними существует связь. Наличие связи между элементами и их свойствами является условием наличия системы.

Системный анализ предполагает системный подход и к изучению связей между элементами, между подсистемами и системой.

Процесс функционирования сложной системы происходит на многих уровнях. Система расчленяется на подсистемы, которые представляют собой компоненты, необходимые для существования и действия системы.

Центральный этап методологии системного анализа— определение целей. Для проектировщиков важно четко представлять себе, что требуется от будущей системы управления, какие результаты желательны. Следовательно, необходимо иметь определенный набор требований к системе, т. е. четко сформулированную цель проектирования. Уже на самых первых фазах уяснения задачи необходимо иметь представление о тех целях, которые предполагается достичь в результате проектирования технологического процесса, в результате управления им.

Формулирование целей создает возможность выбора связанных с ними критериев. В системном анализе под критерием понимается правило, по

которому проводится отбор тех или иных средств достижения цели. Критерий в общем случае дополняет понятие цели и помогает определить эффективный способ ее достижения. В том случае, когда между целью и средствами ее достижения имеется четкая однозначная связь, критерий может быть задан в виде аналитического выражения. Эта ситуация типична, например, для "простых" систем проектирования или управления, когда критерий, заданный в виде функционала, позволяет найти управляющие воздействия, обеспечивающие заданную цель. Поэтому в таких ситуациях понятия цели и критерия не различают. В сложных системах с высокой степенью неопределенности, когда цели носят качественный характер и получить аналитическое выражение не представляется возможным, следует отличать цели от критериев, характеризуя средства достижения цели [3].

Критерий должен отвечать ряду требований.

Во-первых, он должен отражать основную, а не второстепенную цель функционирования управляемой системы.

Во-вторых, отражать существенные стороны деятельности системы, т. е. быть достаточно представительным.

В-третьих, критерий должен быть чувствительным к существенным изменениям, возникающим в процессе функционирования управляемой системы.

Для проектирования и управления всегда желательно иметь единственный критерий оптимальности, что облегчает принятие решений и позволяет решить задачу оптимизации математически.

Системный подход требует прослеживания как можно большего числа связей — не только внутренних, но и внешних, — чтобы не упустить действительно существенные связи и факторы и оценить их влияние на систему.

При разработке систем управления производственными процессами в связи с применением ЭВМ неизбежно приходится рассматривать прежде всего такие вопросы, как совершенствование структуры управления, методы подготовки и принятия решений и, соответственно, формирование целей и критериев, используемых в процессе проектирования.

Существенное место в понятии системы занимает принцип целостности, согласно которому взаимосвязь и взаимодействие объектов порождает новые, системные свойства объекта, не присущие отдельным его элементам.

С точки зрения системного подхода к автоматизации проектирования, процесс проектирования представляет собой многослойную иерархическую процедуру с оптимизацией решений в каждом слое.

Принцип иерархичности в проектировании и управлении, а также принцип целостности обуславливают необходимость построения системы критериев, когда частные критерии, предназначенные для решения задач низшего звена управления (подсистемы), логически совпадают с критериями, применяемыми на более высоком иерархическом уровне.

В процессе проектирования и управления сопоставляются выходные величины, т.е. результат функционирования системы, с критерием. Следовательно, критерий в управляемой системе — это признак, по которому выбирается наиболее эффективный способ достижения цели. Он является той величиной, которую нужно максимизировать или минимизировать при управлении системой в соответствии с целью ее деятельности.

Таким образом, система — это достаточно сложный объект, который можно расчленить на составляющие элементы или подсистемы. Элементы информационно связаны друг с другом и с окружающей объект средой. Совокупность связей образует структуру системы. Система имеет алгоритм функционирования, направленный на достижение определенной цели.

Например, при проектировании автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) его рассматривают как взаимосвязанную совокупность отдельных типовых технологических процессов и аппаратов, при взаимодействии которых возникают статистически распределенные по времени возмущения, т.е. существуют стохастические взаимосвязи между входными и выходными переменными подсистем.

При создании новых технологических процессов или реконструкции старых с целью их оптимизации решаются, как правило, такие задачи:

- организация работы производства и соответствующих агрегатов в оптимальных режимах по экономическим и энерготехнологическим показателям;
- передача функций управления самому агрегату через оптимальную организацию материальных и энергетических потоков в агрегате, т. е. структура агрегата организуется кибернетически;
- обеспечение надежности функционирования агрегата.

Исходя из этих основных задач, решаемых при проектировании технологических процессов, необходимо формировать цели, критерии и ограничения на самых ранних стадиях проектирования. Эти требования в равной степени справедливы при конструкторском проектировании.

Глобальную цель проектирования или управления обычно не удается связать непосредственно со средствами ее достижения. Поэтому ее обычно разбивают (декомпозиция) на более частные локальные цели, позволяющие

выявить средства их достижения. Такой метод системного анализа называют методом построения дерева целей [4].

Дерево (рис. 2) является удобным средством для представления существующих иерархий. Корень дерева отождествляется с системой, а уровни дерева — с подсистемами и элементами.

Аналогично строится дерево целей, где корень дерева соответствует генеральной цели, а остальные вершины — подцелям, причем по мере опускания по уровням дерева цели становятся более частными. Разбиение генеральной цели на подцели продолжается до тех пор, пока не появится возможность связать цели нижних уровней дерева со средствами, обеспечивающими выполнение этих целей.

Таким образом, одна из главных задач построения дерева — установление полного набора средств, обеспечивающих достижение поставленной генеральной цели и выявление связей между этими средствами.

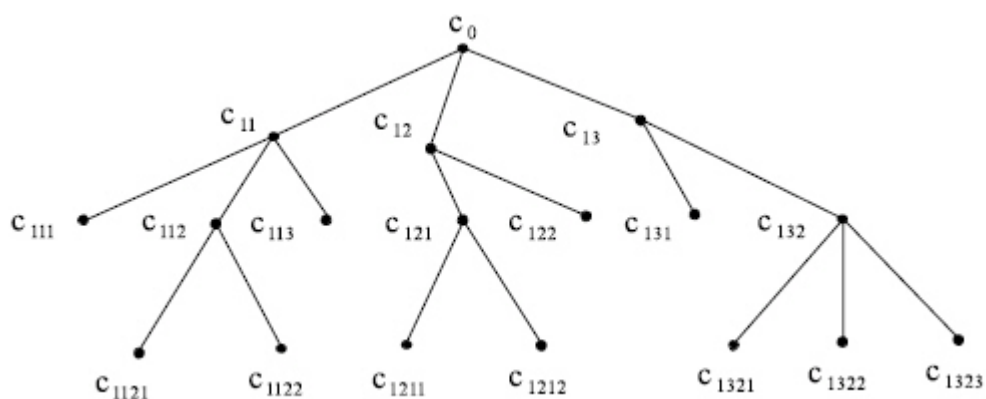


Рис. 2. Дерево целей

Несмотря на то, что дерево целей формируется на эвристической основе, при реализации метода построения дерева можно выделить два этапа:

- построение первоначального варианта дерева целей;
- определение коэффициентов относительной важности его отдельных элементов и формирование окончательного варианта дерева целей.

Иерархия систем проектирования и управления, определение необходимого числа уровней, установление между уровнями правильных взаимосвязей, организация информационных потоков, создание контуров принятия решений — все это тесно связанные вопросы рационального выбора схем проектирования и управления. Решение их определяется материальной природой объектов, характером происходящих в них процессов и взаимодействиями между ними, ограничениями на их

функционирование, а также алгоритмами управления. Эти факторы оказывают непосредственное влияние на выбор структуры сложной системы.

В работе [5] проводится анализ влияния различных факторов на формирование или выбор структуры сложной технической системы с позиций таких важнейших характеристик структуры, как степень централизации и норма управляемости.

Степень централизации служит в некотором смысле мерой разделения полномочий между уровнями системы. Для каждой пары смежных уровней  $(i-1, i)$ ,  $i = 2, \dots, N$  степень централизации может измеряться отношением объема  $w_i$  задач, решаемых на  $i$ -м уровне, к объему  $w_{i-1}$  задач, решаемых на  $(i-1)$ -м уровне.

Объем  $w_i$  решаемых задач может быть оценен, например, через количество перерабатываемой информации на уровне  $i$ .

Смещение основной массы решений в сторону высшего уровня (повышение степени централизации) обычно отождествляется с повышением управляемости подсистем и улучшением качества решений с одновременным увеличением объема перерабатываемой информации на верхних уровнях. Смещение решений в сторону нижних уровней (повышение степени децентрализации) соответствует увеличению самостоятельности подсистем, уменьшению объема информации, перерабатываемой верхними уровнями.

Понятие степени централизации тесно связано с другой характеристикой структуры организации — нормой управляемости. Последняя определяет объем задач, решением которых может эффективно управлять руководитель. Ограничение на "мощность переработки информации" в подсистемах существенно влияет на выбор структуры.

Степень централизации и норма управляемости, как правило, изменяются с переходом от одного иерархического уровня системы к другому. Кроме того, на них существенное влияние оказывает автоматизация управления.

Важным показателем, определяемым при формировании или выборе структуры, считается трудоемкость (сложность) управления. Данный показатель характеризует затраты (стоимость) человеко-машинного времени при выполнении функций управления для систем с заданной структурой и алгоритмом управления.

Функция сложности (трудоемкости) управления зависит от размерности решаемых на различных уровнях задач, числа подсистем на каждом уровне иерархии и числа уровней. Основой для определения необходимого числа уровней иерархии обычно служит либо загрузка возможных звеньев системы, либо некоторая функция сложности

управления, определяемая характером и количеством операций при различных схемах управления. Функция сложности может быть определена при заданных алгоритмах работы узлов и взаимосвязях между ними.

В работе [6] приводятся два утверждения, которые необходимо учитывать при выборе структуры.

Во-первых, при отсутствии ограничений нельзя увеличить показатель качества управления, увеличивая количество уровней управления.

Во-вторых, необходимо стремиться ограничивать число подсистем на данном уровне управления.

Тогда задача состоит в нахождении структуры управления с минимальным количеством уровней управления и минимальным количеством подсистем на каждом уровне при допустимой сложности управления.

Быстродействие системы управления определяется ее способностью реагировать с достаточной оперативностью на возникающие возмущения. Быстродействие зависит не только от возможностей технических средств и персонала в осуществлении сбора, обработки и передачи информации, но и от организационной структуры, т. е. от распределения функций управления и необходимых для их реализации полномочий по уровням руководства и структурным подразделениям каждого уровня.

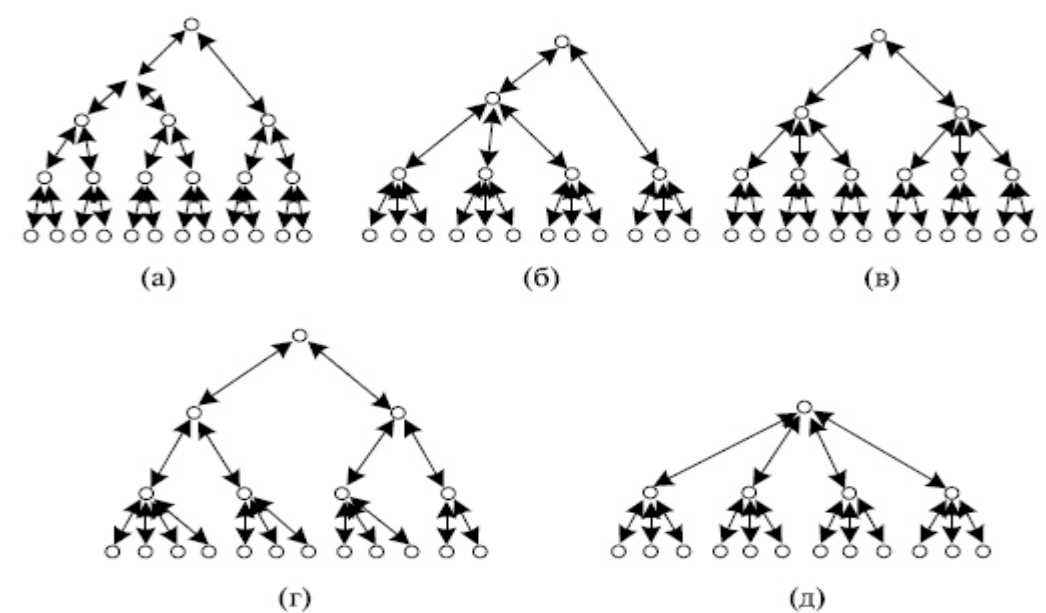


Рис. 2 Допустимые структуры сложных систем

Излишняя централизация удлиняет цепь передачи информации к звеньям, выполняющим решения, в результате чего возможны искажения. Кроме того, вследствие удлинения цепи передачи информации "с места в

центр" и передачи решений "из центра на места" удлиняется время между отправкой информации и получением решения.

При оптимизации взаимодействия между уровнями в иерархической системе управления важной является проблема координации.

Цель высшей подсистемы — влиять на низшие таким образом, чтобы достигалась общая цель, заданная для всей системы. Это и составляет содержание понятия координации.

Согласно изложенному, наилучшая иерархическая структура из допустимых структур, приведенных на рис. 2, показана в подпункте "д". Среди структур, имеющих четыре уровня управления (рис. 2 б, в, г), лучшая структура показана на рис. 2 б, т. к. она имеет минимальное число подсистем высших уровней.

Следовательно, любая сложная система может быть реализована на основе различных структур. В связи с этим возникает уже на первых порах проектирования системы проблема выбора ( синтеза ) при заданных ресурсах оптимальной структуры, которая максимизирует критерий качества (в общем случае векторный) функционирования системы.

Под проблемой синтеза структуры понимается [7]:

- синтез структуры управляемой системы, т. е. оптимальное разбиение множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками связей;

- выбор числа уровней и подсистем (иерархия системы);

- выбор принципов организации управления, т. е. установление между уровнями правильных взаимоотношений (это связано с согласованием целей подсистем разных уровней и с оптимальным стимулированием их работы, распределением прав и ответственностей, созданием контуров принятия решений);

- оптимальное распределение выполняемых функций между людьми и средствами вычислительной техники;

- выбор организационной иерархии.

Под проблемой анализа структуры понимается определение основных характеристик системы при некоторой выбранной (фиксированной) структуре.

## Контрольные вопросы и упражнения

1. Дайте определение понятия "проектирование".
2. Что является предметом изучения в теории систем?
3. Назовите признаки, присущие сложной системе.
4. Приведите примеры иерархической структуры технических объектов, их внутренних, внешних и выходных параметров.
5. Приведите примеры условий работоспособности.
6. Почему проектирование обычно имеет итерационный характер?
7. Назовите основные стадии проектирования технических систем. Чем обусловлено прототипирование?
8. Дайте характеристику этапов жизненного цикла промышленной продукции.
9. Назовите основные типы промышленных АС и виды их обеспечения.
10. Какие причины привели к появлению и развитию CALS-технологий?
11. Что понимают под комплексной АС?



## Лекция 2: Системный подход к задаче автоматизированного проектирования технологического процесса

### 1. Общие сведения

Системный подход к задачам автоматизированного проектирования требует реализации совместного проектирования технологического процесса (ТП) и автоматизированной системы управления этим процессом (АСУТП). Традиционное раздельное рассмотрение задач проектирования и производства изделий уже не удовлетворяет потребностям сегодняшнего дня, т.к. не может гарантировать ни высокого качества проектирования, ни надлежащего уровня организации производственных процессов, обеспечивающих их реализацию.

Однако именно в процессе проектирования порождается существенная часть информации, используемой для организации производства [3]. Появилось новое понятие: автоматизированный технологический комплекс (АТК).

При автоматизации технологический процесс рассматривается как *технологический объект управления (ТОУ)*, который представляет собой совокупность технологического оборудования и реализованного на нем по соответствующим инструкциям и регламентам *технологического процесса* производства. Управление ТОУ осуществляется с помощью *автоматизированной системы управления (АСУТП)*, представляющей собой человеко-машинную систему управления, которая обеспечивает автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления *технологическим процессом* в соответствии с принятым критерием [3].

Совместно функционирующие ТОУ и управляющая ими АСУТП составляют *автоматизированный технологический комплекс (АТК)* [4].

Системный подход к проектированию АТК требует объединения проектирования технологических процессов и разработки

автоматизированной системы управления этим процессом в соответствии со структурой АТК.

Если АТК рассматривать как систему "ТП—АСУТП", то на определенных этапах проектирования технологического процесса необходимо выполнение требований, предъявляемых к АСУТП. Это позволяет сократить сроки проектирования АТК и создать более эффективную систему.

Следовательно, проектирование АТК объединяет два направления проектирования: разработку ТП и АСУТП. Поскольку цель создания АТК— это управление некоторым сложным объектом, то следует различать управляемую и управляющую системы. *Управляемой системой* является технологический производственный комплекс, который является объектом управления. *Управляющей* является автоматизированная система управления.

АТК представляет собой сложную многоуровневую блочно-иерархическую систему с оптимизацией решений в каждом слое (рис. 1).

Сущность блочно-иерархического подхода заключается в расчленении объекта проектирования на уровни с постепенной детализацией представления системы сверху вниз. При этом система рассматривается не в целом, а отдельными блоками. Преимущество *блочно-иерархического подхода* состоит в том, что сложная задача большой размерности расчленяется на последовательно решаемые задачи малой размерности [4].

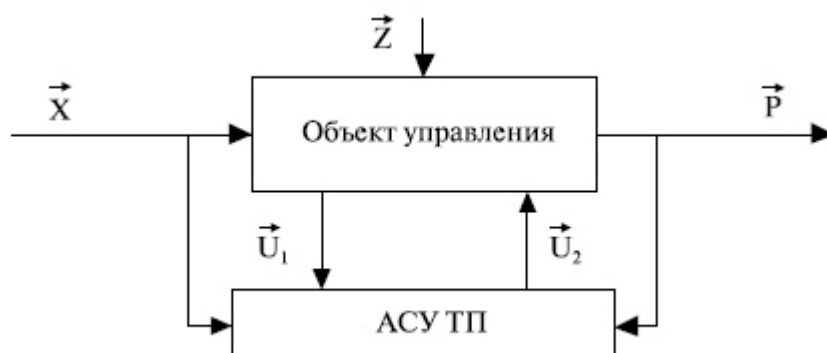


Рис. 1. Взаимодействие АТК с объектами управления

Системный подход к проектированию *АТК* требует учета следующих основных принципов:

- реализации совместного проектирования *технологического процесса* и разработки *АСУТП* этим процессом в соответствии со структурой *АТК* ;
- использования блочно-иерархического принципа, основанного на представлении *АТК* сложной системой;
- целенаправленности, т. е. в результате проектирования должна быть достигнута цель, включающая создание *АТК* с малой энергоемкостью и высокой производительностью.

Первый принцип требует, чтобы ряд отдельных операций выполнялся параллельно. Кроме того, на определенных этапах проектирования технологического процесса, как уже отмечалось ранее, к нему предъявляются требования АСУТП.

Второй принцип требует разбивать *АТК* как сложную систему на ряд элементов и подсистем.

Третий принцип требует организовать деятельность проектировщиков *АТК* в виде целенаправленных действий. При этом определяется сначала глобальная (общая) цель проектирования, например создание высокопроизводительного *АТК* с малой энергоемкостью. Эта цель уточняется и представляется в виде некоторых числовых соотношений. Затем задается влияние элементов и систем на глобальную цель проектирования, а также задач проектирования отдельных элементов и систем на общее проектирование *АТК*.

Такой анализ помогает установить частные цели проектирования, позволяющие достичь глобальной цели. При этом предполагается, что многокритериальная задача может быть свернута в однокритериальную с единственным критерием оптимизации.

## 2. Системный анализ сложных процессов

При анализе сложных процессов, когда не представляется возможным найти внутренние связи в системе, используется известный в кибернетике принцип "*черного ящика*". Этот принцип заключается в том, что, не имея информации о существе, внутренней структуре процесса, для его математического описания используют лишь зависимость выходных величин от входных.

Понятие "черного ящика" относится к основным понятиям кибернетики, помогая при изучении поведения систем, т.е. реакций на различные внешние воздействия, абстрагироваться от их внутреннего устройства. Многие системы, особенно большие, оказываются настолько сложными, что практически невозможно связать ее с поведением системы в целом [4]. В таких случаях представление такой сложной системы в виде некоторого "черного ящика", функционирующего аналогично, облегчает построение упрощенной модели. Анализируя поведение модели и сравнивая ее с поведением системы, можно сделать ряд выводов о свойствах самой системы и при их совпадении со свойствами модели выбрать рабочую гипотезу о предполагаемом строении исследуемой системы.

Пусть на вход системы подаются воздействия  $X$ , а на выходе получают показатели качества  $P$  (рис. 2). Наблюдая достаточно долго за поведением такой системы и, если потребуется, выполняя активные эксперименты над ней, т.е. изменяя некоторым определенным образом входные воздействия, можно достигнуть такого уровня знаний свойств системы, чтобы иметь возможность предсказать изменение ее выходных показателей при любом заданном изменении входных.

Метод, использующий "черный ящик", широко применяют для решения задач моделирования управляемых систем (особенно при исследовании сложных технических объектов) в тех случаях, когда представляет интерес поведение системы, а не ее строение [4].

В этих ситуациях зачастую единственно пригодными оказываются статистические методы оптимизации, поскольку ни технолог, ни управляющая ЭВМ в ряде случаев не способны в ходе процесса учесть суммарный эффект действия множества различных факторов, часто связанных сложными зависимостями. Кроме того, на процессах могут сказываться явления, недоступные контролю по физическим или техническим причинам. Следовательно, производственная информация носит стохастический характер. Этим объясняется применение для исследования и управления *технологическим процессом* статистических методов [5].

При использовании статистических методов возникают две основные задачи: построение модели и нахождение стратегии оптимального управления. Для решения этих задач разработан ряд эффективных статистических методов.

При создании математических моделей универсальным является метод регрессионного анализа [5, 6]. В этом случае зависимость каждого выходного параметра (показателя качества) процесса от различных факторов представляется в виде многочлена, включающего рассматриваемые факторы и их комбинации. Коэффициенты при отдельных слагаемых многочлена (коэффициенты регрессии) определяются путем статистической обработки экспериментальных данных [6]. Стремление учитывать влияние многих факторов приводит к необходимости сбора и обработки больших массивов информации. С целью значительного сокращения объема работы в настоящее время широко применяется метод многофакторного эксперимента. Сущность метода заключается в том, что взамен традиционного исследования влияния отдельных факторов при неизменных остальных, при каждом опыте исследуется влияние одновременного изменения нескольких факторов. Даже при небольшом числе исследуемых переменных метод позволяет значительно уменьшить объем экспериментов при условии, что их чередование выполняется по определенному плану. Эффективность метода возрастает с увеличением сложности исследуемого процесса [6].

При наличии разработанной модели задача оптимизации сводится к прогнозированию хода процесса при различных комбинациях воздействий и выбору оптимального варианта. Имеется ряд методов, позволяющих осуществлять целенаправленный поиск вариантов в направлении возрастания целевой функции, в частности, так называемый симплекс-метод и его модификации, пригодные для линейных регрессионных моделей. Реализация таких методов наиболее эффективна в системах управления на основе ЭВМ [7].

Большинство автоматизированных систем управления технологическими процессами из-за специфических особенностей технологии производства электронных приборов могут быть созданы только на основе методов статистического управления. Это обусловило переход от простейших методов статистического управления к более сложным — методам корреляционно-регрессионного анализа и составления регрессионных уравнений как математико-статистических моделей процессов.

Методология системного анализа достаточно универсальна и может быть использована как для процесса проектирования в целом, так и для отдельных стадий и этапов проектирования. При переходе от общего проектирования к отдельным стадиям будет меняться содержание целей, альтернатив и решений, но общая последовательность этапов анализа будет сохраняться [8].

При проектировании АТК с помощью ЭВМ составляется прежде всего задание на проектирование. Задание составляется заказчиком с участием той организации, которая будет разрабатывать проект.

Задание на проектирование включает в себя целый ряд пунктов, подробно перечисленных в [9]. Отметим некоторые из них (в произвольном порядке):

- основание для проектирования;
- перечень производств, цехов, установок, охватываемых проектами систем автоматизации, с указанием для каждого особых условий (при их наличии), например класс взрыво- и пожароопасности помещений, наличие влажной, сырой окружающей среды и т. д.;

- стадийность проектирования;
- требования к разработке вариантов проекта (части проекта);
- планируемый уровень капитальных затрат на автоматизированное проектирование и примерных затрат на научно-исследовательские работы (НИР), опытно-конструкторские работы (ОКР) и проектирование с указанием источников финансирования, и др.

Например, основанием для разработки той или иной радиосистемы или элемента может быть необходимость использования его в более крупной системе или его преимущества по сравнению с имеющимися (известными) аналогами. А основанием для автоматизированного проектирования *АТК* являются, как правило, сокращение сроков проектирования и внедрения, уменьшение количества ошибок при проектировании, обеспечение возможности изменения проектных решений, сокращение сроков тестирования микросхем [9].

По мере усложнения системы резко возрастает время разработки и внедрения, увеличиваются трудозатраты. Соответственно, происходит пропорциональный рост расходов на разработку и внедрение. Этот фактор необходимо учитывать уже на стадии формулирования основания для проектирования и непосредственно использовать при проведении расчетов по технико-экономическому обоснованию.

Формирование внешних условий по отношению к проектируемому объекту необходимо потому, что они должны быть учтены уже на самых первых этапах проектирования. Например, одни и те же технологические операции на различных установках в одних и тех же условиях могут иметь некоторый разброс значений выходных параметров; аналогично, одна и та же установка будет иметь разброс значений при различных условиях окружающей среды и т.д. Исследование такого рода влияния — одна из задач научно-исследовательской работы, поскольку указанные факторы влияют и на сам технологический процесс, и на адекватность математических моделей, описывающих этот процесс.

Рассмотрим, как связаны пункты задания со стадийностью проектирования. Стадийность создания систем автоматизированного проектирования регламентируется стандартами [10], поясняется в нормативной документации [11] и специальной литературе [14, 15].

### 3. Этапы проектирования сложных систем

Традиционно проектирование сложных технических систем подразделяют на следующие этапы или стадии разработки (рис. 2):

- техническое задание на проектируемый объект;
- научно-исследовательская работа;
- эскизный проект;
- технический проект;
- рабочий проект;
- технология изготовления и испытания спроектированного объекта (опытного образца или партии), внесения коррекции (при необходимости).





Рис. 3.2. Этапы проектирования сложных систем

### **Техническое задание**

На этапе разработки технического задания (ТЗ) решаются следующие задачи:

- поиск и выбор необходимой научно-технической информации (о прототипах, патентных данных и т.д.) из соответствующей базы данных. Новая схема (устройство) может либо иметь, либо не иметь аналогов. В случае, если аналоги имеются, можно приступить к этапу проектирования устройства (системы). Но, как правило, аналога нет или разрабатываемая система должна превосходить известный аналог, поэтому необходимо проведение этапа НИР;
- анализ выбранной информации и формулировка на его основе технических требований (ТТ) к проектируемому объекту. Оформление ТТ в соответствии с установленными правилами.
- перечисление функций, выполняемых устройством;
- разработка структурной схемы устройства;
- оформление условий работоспособности устройства;
- оформление требований к выходным параметрам;
- определение характеристик отдельных узлов;
- разработка алгоритмов выполняемых операций.

### **Этап НИР**

Этот этап предварительного проектирования. Это один из самых ответственных этапов. Для решения задач этого этапа необходимо использование ЭВМ. Это так называемые автоматизированные системы научных исследований (АСНИ).

На этапе *НИР* необходимо решение следующих задач:

1. Формулирование критериев качества и управления.
2. Управление научным экспериментом.

3. Проведение пассивного или (и) активного эксперимента с обработкой их результатов.
4. Разработка математических моделей и их идентификация по экспериментальным данным.
5. Отработка технологических процессов изготовления объектов РЭС с целью поиска норм на параметры, обеспечивающих оптимальные выходные показатели качества.
6. Формирование обобщенного критерия качества, включающего в себя все частные показатели качества. Обобщенный критерий принимается далее за целевую функцию при решении задачи оптимизации.
7. Решение задачи оптимизации. Производится варьирование входных и управляющих параметров *технологического процесса* в рамках установленных норм (допусков) с целью получения оптимального критерия качества.
8. Поиск принципиальной возможности построения системы.
9. Разработка новых технических средств, в том числе средств контроля и измерений.

В результате проведения НИР выдается *техническое предложение* (ТП).

Хотя этап *НИР* является самостоятельным этапом, здесь могут использоваться методы, алгоритмы и программы из САПР.

### **Этап ОКР**

Это этап эскизного проектирования. На данном этапе производится следующее решение задач:

1. Разрабатывается эскиз проектируемой системы (устройства) с детальной разработкой ее возможностей, осуществляется поиск и выбор более детальной информации.
2. На основе анализа полученной информации принимают предварительные проектные решения и оформляют первые проектные документы.

3. Для выработки проектных документов производят различные расчеты, содержание, объем и трудоемкость которых зависят от характеристик проектируемого объекта.

Работы этого этапа в наибольшей степени поддаются автоматизации, и их автоматизация дает наибольший технико-экономический эффект за счет оптимизации проектных решений.

Автоматизация указанных работ достигается за счет применения оптимизационных математических методов.

### **Этап разработки технического проекта объекта**

На этом этапе детализируют и уточняют решения, принятые при эскизном проектировании, и создают новые, более точные проектные документы.

Большинство документов, сформированных на этапах эскизного и технического проектирования, используются только для выполнения рабочего проектирования и не входят в состав рабочей и эксплуатационной документации. Информация, наработанная на рассмотренных стадиях, служит исходной для рабочего проектирования. Это значит, что в условиях автоматизированного проектирования целесообразно создание банков временной информации по проектируемому объекту.

### **Рабочее проектирование**

На стадии рабочего проектирования основным видом выполняемых работ является оформление проектных решений в виде чертежей, спецификаций к ним и эксплуатационной документации на объект.

Современные средства вычислительной техники позволяют полностью автоматизировать оформление чертежей и спецификаций, и в определенной степени — формирование эксплуатационной документации.

Если система автоматизации проектирования выполняет выпуск не только рабочего проекта, но и проектирование технологии, тогда целесообразно не изготавливать чертежи и спецификации в традиционном виде, а передавать проектировщикам-технологам информацию на машинных носителях в виде базы данных о проектируемом объекте.

## **Проектирование технологии изготовления спроектированного объекта**

На этой стадии традиционно выполняют работы в процессе технологической подготовки производства изделия или его узлов и деталей на предприятии-изготовителе.

При проектировании технологии производят:

- поиск и выбор исходной информации (об объекте, подлежащем изготовлению; о технологическом оборудовании предприятия; о технологических и трудовых нормативах);
- анализ и обработку данных в целях определения маршрутов обработки, последовательности технологических операций и режимов их проведения, потребности в инструменте и измерительном оборудовании, в создании специальной оснастки;
- оформление соответствующей технологической документации.

Работы, названные в ТЗ и ТП, идентичны многим операциям при проектировании изделия. Собственно проектирование технологии требует оригинальных расчетов и решений для различных видов технологических операций. Тем не менее, методы формализации большинства таких работ существуют, следовательно, они могут быть автоматизированы.

Автоматизация операций обработки информации и процессов управления использованием информации на всех рассмотренных стадиях проектирования составляет сущность функционирования современных САПР.

Основное назначение САПР — решение задач эскизного и технического проектирования. На этих этапах разрешаются вопросы синтеза топологии (разбиение электрической схемы на функционально законченные части, размещение элементов электрической схемы, трассировка — определение трасс между элементами) а также разработка и выпуск фотошаблонов.

Из рис. 2 следует, что формирование исходных данных для проектирования продолжается и на этапе технического задания (ТЗ), и на

этапе НИР (АСНИ). На этапе НИР уточняются связи "вход-выход", осуществляется определение информативности параметров, проводится активный эксперимент, разрабатываются математические модели и алгоритмы управления технологическим процессом.

Проектирование системы (или устройства) состоит из двух основных этапов [16]:

- обоснование исходных данных (технических условий, технического задания) для проектирования;
- проектирование системы для сформулированных исходных данных.

Первый этап называют ***внешним проектированием***, а второй этап — ***внутренним проектированием***.

При рассмотрении задачи проектирования системы необходимо задать класс допустимых исходных данных (класс технических условий), класс допустимых решений (класс проектов) и способ построения какого-либо проекта из класса допустимых решений по произвольному техническому условию из класса допустимых исходных данных. Автоматизированное проектирование тогда сводится к заданию конкретного технического условия из класса допустимых исходных данных и применению к нему алгоритма перехода к классу решений [16].

Исходные данные обосновываются путем всестороннего рассмотрения условий работы системы и требований, предъявляемых к системе исходя из ее назначения. Вновь создаваемая система, как правило, содержит элементы уже существующих систем, поэтому этап уяснения задачи при проектировании включает в себя обследование всего достигнутого ранее в поисках методов, аналогов и элементов для разрабатываемой системы, а также предусматривает выявление потребностей. Этот этап характеризуется тем, что превращает начальную неопределенную ситуацию в набор данных, которые позволяют сформулировать цели, определяющие весь процесс проектирования. Следовательно, уяснение задачи начинается со сбора информации, касающейся проектируемой системы. При этом необходимо

проведение анализа уже существующих систем и используемых методов в них, достигнутый уровень технического и технологического развития, природное окружение, экономические условия, общественные и индивидуальные человеческие факторы — все эти условия необходимо учитывать при проектировании системы [17].

Процесс обоснования исходных данных (внешнее проектирование) существенно зависит от того, является ли проектируемая система частью более сложной системы, т.е. подсистемой (или устройством), или она задумана автономной, т.е. может использоваться заказчиком самостоятельно. В том случае, когда разрабатываемая система будет составляющей (подсистемой) более сложной системы, перед тем как формулировать исходные данные для таких составляющих, надо систему разбить на эти части. Для сложных объектов выполнить одновременно оптимальное проектирование для всех частей не удастся. Особенно это относится к тем случаям, когда требуется не только выбрать параметры системы, но и синтезировать ее структуру. Поэтому при проектировании систем средней и особенно большой сложности их обычно разбивают на подсистемы или сегменты.

Чем на большее число частей разбита система, тем труднее правильно сформулировать исходные данные для каждого сегмента, но тем легче провести оптимизацию для тех исходных данных, которые для него установлены. Поэтому в каждом конкретном случае проектирования определяют наиболее целесообразное число сегментов, на которое следует разбить систему, чтобы получить решение, наиболее близкое к оптимальному.

При обосновании исходных данных для проектирования системы необходимо учитывать реальные ограничения.

Исходные данные (исходное описание) не должны нести избыточной информации. В то же время должны быть заданы все основные параметры и характеристики будущей системы и технические условия проектирования,

ограничивающие проектные решения. Если процесс проектирования разбивается на этапы, исходные данные каждого этапа должны содержать минимально необходимую информацию для его прохождения.

Язык представления исходных данных (в том числе язык исходных данных каждой из подсистем) должен быть близок к системе понятий, употребляемой инженерами-проектировщиками.

Внешний вид записи исходных и конечных данных на каждом этапе должен быть близким к обычно применяемым проектировщиками техническим описаниям. Например, готовый проект должен представлять совокупность описаний в виде чертежей, смет, пояснительных записок, содержащих всю технико-экономическую информацию, необходимую для изготовления, отладки и сдачи системы в эксплуатацию, и делиться на отдельные специализированные части: функциональные схемы, структурные схемы, спецификации, сметы, принципиальные схемы, алгоритмы управления, программы управления.

Всю исходную информацию, подготовленную для разработки технологических процессов, подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

*Базовая информация* состоит из конструкторской документации на изделие и программы выпуска этого изделия.

*Руководящая информация* включает данные, содержащиеся в следующих документах:

- отраслевых стандартах, устанавливающих требования к *технологическим процессам* и методам управления ими, а также стандартам на оборудование и оснастку;
- документации на действующие единичные, типовые и групповые *технологические процессы* ;
- классификаторах технико-экономической информации;
- материалах по выбору технологических нормативов (режимов, норм расхода материалов и т. д.);

- документации по технике безопасности и промышленной санитарии.

*Справочная информация* включает данные, содержащиеся в следующих документах:

- технической документации опытного производства;
- описаниях прогрессивных методов изготовления и ремонта;
- каталогах, паспортах, справочниках, альбомах компоновок прогрессивных средств технологического оснащения;
- методических материалах по управлению *технологическими процессами* ;
- планировках производственных участков.

Итак, для выполнения проектов систем автоматизированных технологических комплексов (АТК) должны быть представлены следующие исходные данные и материалы [17]:

- уточненные технологические схемы с характеристиками оборудования;
- перечни контролируемых и регулируемых параметров с необходимыми требованиями (например нормами, контрольными границами регулирования и т.д.);
- чертежи производственных помещений с расположением технологического оборудования;
- чертежи технологического оборудования, на котором предусматривается установка приборов и средств автоматизации;
- требования к надежности систем автоматизации;
- результаты НИР и ОКР, содержащие рекомендации по проектированию систем и средств автоматизации;
- техническая документация по типовым и проектным решениям и др.

Основными рекомендациями, выдаваемыми в результате проведения НИР и ОКР, должны быть, как уже говорилось, перечень наиболее информативных (контролируемых и регулируемых) параметров, математические модели и алгоритмы управления, эскиз проектируемой системы.



## **Контрольные вопросы и упражнения**

1. В чем сущность системного подхода к автоматизированному проектированию технологического процесса?
2. Что представляет собой АТК?
3. Что является ТОУ?
4. Как расшифровывается АСУТП?
5. Что является управляемой системой?
6. Что является управляющей системой?
7. В чем сущность блочно-иерархического подхода к проектированию?
8. Какие принципы требуется учитывать при проектировании АТК?
9. В чем заключается принцип "черного ящика"?
10. Какие пункты включает в себя задание на проектирование?
11. Опишите стадии разработки сложных технических систем.
12. Что называется внешним проектированием?
13. Что называется внутренним проектированием?
14. Что включает в себя руководящая информация?
15. Какие данные включаются в справочную информацию?

## Лекция 3: САПР АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 1. Общие понятия и определения

САПР — это организационно-техническая система, состоящая из совокупности комплекса средств автоматизации проектирования и коллектива специалистов подразделений проектной организации, выполняющая автоматизированное проектирование объекта, которое является результатом деятельности проектной организации [18].

Идеальная схема функционирования САПР представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема функционирования САПР (КСА — комплекс технических средств)

Из определения САПР следует, что целью ее функционирования является проектирование.

В практике неавтоматизированного проектирования полное описание проектируемого объекта и способов его изготовления содержит проект изделия и техническую документацию. Для условия автоматизированного проектирования еще не узаконено названия конечного продукта проектирования, содержащего данные об объекте, и технологии его создания. На практике его называют по-прежнему "проектом".

Проектирование — это один из наиболее сложных видов интеллектуальной работы, выполняемой человеком. Более того, процесс проектирования сложных объектов не под силу одному человеку и выполняется творческим коллективом. Это, в свою очередь, делает процесс проектирования еще более сложным и трудно поддающимся формализации.

Для автоматизации такого процесса необходимо четко знать, что в действительности он собой представляет и как выполняется разработчиками.

**Объектом автоматизации проектирования** являются работы, действия человека, которые он выполняет в процессе проектирования. А то, что проектируют, называют **объектом проектирования**.

Человек может проектировать дом, машину, технологический процесс, промышленное изделие. Такие же *объекты* призвана проектировать САПР. При этом разделяют САПР изделия (САПР И) и *САПР технологических процессов* (САПР ТП).

Следовательно, объекты проектирования не являются объектами автоматизации проектирования. В производственной практике **объектом автоматизации проектирования** является вся совокупность действий проектировщиков, разрабатывающих изделие или технологический процесс, или то и другое, и оформляющих результаты разработок в виде конструкторской, технологической и эксплуатационной документации.

Разделив весь процесс проектирования на этапы и операции, можно описать их с помощью определенных математических методов и определить инструментальные средства для их автоматизации. Затем необходимо рассмотреть выделенные проектные операции и средства автоматизации в комплексе и найти способы сопряжения их в единую систему, отвечающую поставленным целям.

При проектировании сложного объекта различные проектные операции многократно повторяются. Это связано с тем, что проектирование представляет собой закономерно развивающийся процесс. Начинается он с выработки общей концепции проектируемого объекта, на ее основе - эскизного проекта. Далее приближенные решения эскизного проекта уточняются на всех последующих стадиях проектирования. В целом такой процесс можно представить в виде спирали. На нижнем витке спирали

находится концепция проектируемого объекта, на верхнем — окончательные данные о спроектированном объекте. На каждом витке спирали выполняют, идентичные операции, но в увеличивающемся объеме. Следовательно, инструментальные средства автоматизации повторяющихся операций могут быть одни и те же.

Практически решить в полном объеме задачу формализации всего процесса проектирования очень сложно, однако если будет автоматизирована хотя бы часть проектных операций, это себя все равно оправдывает, т.к. позволит в дальнейшем развивать созданную САПР на основе более совершенных технических решений и с меньшими затратами ресурсов.

В целом для всех этапов проектирования изделий и технологии их изготовления можно выделить следующие основные виды типовых операций обработки информации:

- поиск и выбор из всевозможных источников нужной информации;
- анализ выбранной информации;
- выполнение расчетов;
- принятие проектных решений;
- оформление проектных решений в виде, удобном для дальнейшего использования (на последующих стадиях проектирования, при изготовлении или эксплуатации изделия).

Автоматизация перечисленных операций обработки информации и процессов управления использованием информации на всех стадиях проектирования составляет сущность функционирования современных САПР.

Основные особенности систем автоматизированного проектирования следующие:

- первой характерной особенностью является возможность комплексного решения общей задачи проектирования, установления тесной связи между

частными задачами, т.е. возможность интенсивного обмена информацией и взаимодействие не только отдельных процедур, но и этапов проектирования;

- вторым отличием САПР РЭС является интерактивный режим проектирования, при котором осуществляется непрерывный процесс диалога "человек-машина". Системы автоматизации проектирования по своему замыслу должны не заменять конструктора, а выступать мощным инструментом его творческой деятельности;

- третья особенность САПР РЭС заключается в возможности имитационного моделирования радиоэлектронных систем в условиях работы, близких к реальным. Имитационное моделирование дает возможность предвидеть реакцию проектируемого *объекта* на самые различные возмущения, позволяет конструктору "видеть" плоды своего труда в действии без макетирования. Ценность этой особенности САПР заключается в том, что в большинстве случаев крайне трудно сформулировать системный критерий эффективности РЭС. Эффективность связана с большим числом требований различного характера и зависит от большого числа параметров РЭС и внешних факторов. Поэтому в сложных задачах проектирования практически невозможно формализовать процедуру поиска оптимального по критерию комплексной эффективности решения. Имитационное моделирование позволяет провести испытания различных вариантов решения и выбрать лучший, причем сделать это быстро и учесть всевозможные факторы и возмущения;

- четвертая особенность заключается в значительном усложнении программного и информационного обеспечения проектирования. Речь идет не только о количественном, объемном увеличении, но и об идеологическом усложнении, которое связано с необходимостью создания языков общения проектировщика и ЭВМ, развитых банков данных, программ

информационного обмена между составными частями системы, программ проектирования. В результате проектирования создаются новые, более совершенные РЭС, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более высокой эффективностью за счет использования новых физических явлений и принципов функционирования, более совершенной элементной базы и структуры, улучшенных конструкций и прогрессивных технологических процессов.

## **2. Принципы создания систем автоматизированного проектирования конструкции и технологии**

При создании САПР руководствуются следующими общесистемными принципами:

1. Принцип включения состоит в том, что требования к созданию, функционированию и развитию САПР определяются со стороны более сложной системы, включающей в себя САПР в качестве подсистемы. Такой сложной системой может быть, например, комплексная система АСНИ — САПР — АСУТП предприятия, САПР отрасли и т.п.
2. Принцип системного единства предусматривает обеспечение целостности САПР за счет связи между ее подсистемами и функционирования подсистемы управления САПР.
3. Принцип комплексности требует связности проектирования отдельных элементов и всего *объекта* в целом на всех стадиях проектирования.
4. Принцип информационного единства предопределяет информационную согласованность отдельных подсистем и компонентов САПР. Принцип информационного единства предусматривает, в частности, размещение всех файлов, используемых многократно при проектировании различных *объектов*, в банках

данных. За счет информационного единства результаты решения одной задачи в САПР без какой-либо перекомпоновки или переработки полученных массивов данных могут быть использованы в качестве исходной информации для других задач проектирования.

5. Принцип совместимости состоит в том, что языки, коды, информационные и технические характеристики структурных связей между подсистемами и компонентами САПР должны быть согласованы так, чтобы обеспечить совместное функционирование всех подсистем и сохранить *открытую структуру* САПР в целом. Так, введение каких-либо новых технических или программных средств в САПР не должно приводить к каким-либо изменениям уже эксплуатируемых средств.
6. Принцип инвариантности предусматривает, что подсистемы и компоненты САПР должны быть по возможности универсальными или типовыми, т.е. инвариантными к проектируемым *объектам* и отраслевой специфике. Применительно ко всем компонентам САПР это, конечно, невозможно. Однако многие компоненты, например программы оптимизации, обработки массивов данных и другие, могут быть сделаны одинаковыми для разных технических объектов.
7. Принцип развития требует, чтобы в САПР предусматривалось наращивание и совершенствование компонентов и связей между ними. При модернизации подсистемы САПР допускается частичная замена компонентов, входящих в подсистему, с изданием соответствующей документации.

Приведенные общесистемные принципы являются чрезвычайно важными на этапе разработки САПР. Контроль над их соблюдением обычно осуществляет специальная служба САПР предприятия.

Сущность процесса проектирования РЭС заключается в разработке конструкций и технологических процессов производства новых

радиоэлектронных средств, которые должны с минимальными затратами и максимальной эффективностью выполнять предписанные им функции в требуемых условиях.

В результате проектирования создаются новые, более совершенные РЭС, отличающиеся от своих аналогов и прототипов более высокой эффективностью за счет использования новых физических явлений и принципов.

### **3. Системы автоматизированного проектирования РЭС и их место среди других автоматизированных систем**

#### **Этапы жизненного цикла промышленных изделий**

*Жизненный цикл* промышленных изделий включает ряд этапов, начиная от зарождения идеи нового продукта до утилизации по окончании срока его использования. Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 2. К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), собственно производства, реализации продукции, эксплуатации и, наконец, утилизации.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение ТЗ при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики. Понятие эффективности включает в себя не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижения затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность



требования удобства эксплуатации имеют для сложной техники, например в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

Достижение поставленных целей невозможно без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обуславливает разнообразие применяемых АС.

Основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий указаны на рис.2 [18].

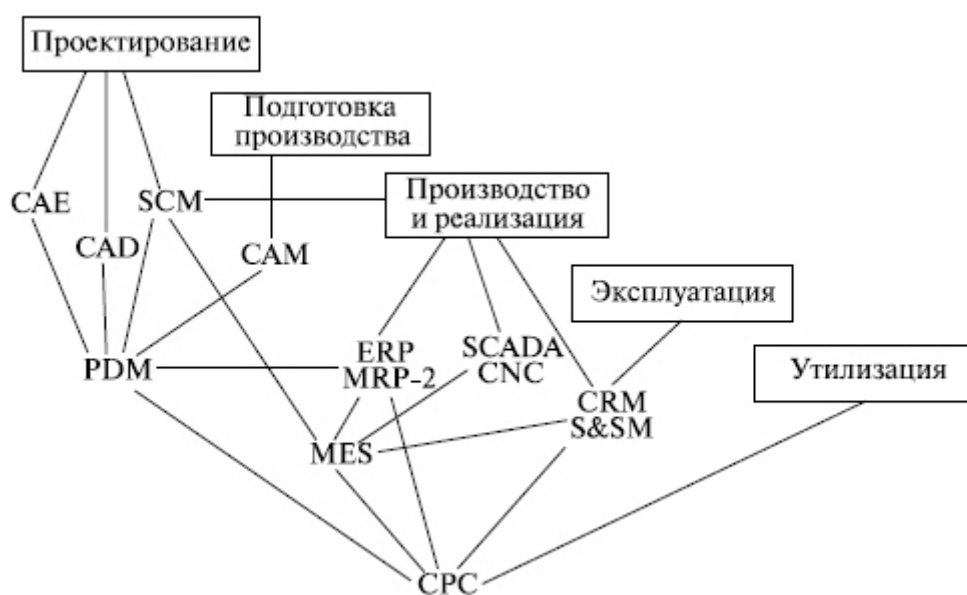


Рис. 2. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и используемые АС

Автоматизация проектирования осуществляется САПР. Принято выделять в САПР радиоэлектронной отрасли промышленности системы функционального, конструкторского и технологического проектирования. Первые из них называют системами расчетов и инженерного анализа, или системами *CAE (Computer Aided Engineering)*. Системы конструкторского

проектирования называют системами *CAD (Computer Aided Design)*. Проектирование технологических процессов составляет часть технологической подготовки производства и выполняется в системах *CAM (Computer Aided Manufacturing)*. Функции координации работы систем *CAE/CAD/CAM*, управления проектными данными и проектированием возложены на систему управления проектными данными *PDM (Product Data Management)*.

Уже на стадии проектирования требуются услуги системы *управления цепочками поставок (SCM — Supply Chain Management)*, иногда называемой системой *Component Supplier Management (CSM)*. На этапе производства эта система управляет поставками необходимых материалов и комплектующих.

Информационная поддержка этапа производства продукции осуществляется *автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) и автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП)*. К АСУП относятся системы планирования и управления предприятием *ERP (Enterprise Resource Planning)*, планирования производства и требований к материалам *MRP-2 (Manufacturing Requirement Planning)*, производственная исполнительная система *MES (Manufacturing Execution Systems)*, а также *SCM* и система управления взаимоотношениями с заказчиками *CRM (Customer Requirement Management)*.

Наиболее развитые системы *ERP* выполняют различные бизнес-функции. Они связаны с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы *MRP-2* ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством, а системы *MES* — на решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые изделия. Эти функции осуществляет система CRM. Маркетинговые задачи иногда возлагаются на систему *S&SM (Sales and Service Management)*, которая используется для решения проблем обслуживания изделий. На этапе эксплуатации применяют также специализированные компьютерные системы, занятые вопросами ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем.

*Автоматизированные системы* управления технологическими процессами контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации.

Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки ПО для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)*. Непосредственное программное управление технологическим оборудованием осуществляют с помощью системы *CNC (Computer Numerical Control)* на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), которые встроены в технологическое оборудование.

В последнее время усилия многих компаний, производящих программно-аппаратные средства АС, направлены на создание *систем электронного бизнеса (E-Commerce)*. Задачи, решаемые системами E-Commerce, сводятся не только к организации на сайтах Internet витрин товаров и услуг. Они объединяют в едином информационном пространстве запросы заказчиков и данные о возможностях множества организаций, специализирующихся на

предоставлении различных услуг и выполнении тех или иных процедур и операций по проектированию, изготовлению, поставкам заказанных изделий. Такие системы E-Commerce называют системами управления данными в интегрированном информационном пространстве *CPC (Collaborative Product Commerce)* или *PLM (Product Lifecycle Management)*. Проектирование непосредственно под заказ позволяет добиться наилучших параметров создаваемой продукции, а оптимальный выбор исполнителей и цепочек поставок ведет к минимизации времени и стоимости выполнения заказа. Характерная особенность *CPC*— обеспечение взаимодействия многих предприятий, т. е. технология *CPC* является основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют САПР, ERP, *PDM*, SCM, CRM и другие АС разных предприятий.

### **Структура САПР**

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

**Проектирующие подсистемы** непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

**Обслуживающие подсистемы** обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными *обслуживающими подсистемами* являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения *CASE (Computer*

*Aided Software Engineering*), обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

### **Виды обеспечения САПР**

Структурирование САПР по различным аспектам обуславливает появление *видов обеспечения САПР*. Принято выделять семь видов обеспечения САПР:

- *техническое (ТО)*, включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);
- *математическое (МО)*, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;
- *программное*, представляемое компьютерными программами САПР;
- *информационное*, состоящее из базы данных, СУБД, а также включающее другие данные, которые используются при проектировании; отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется информационным фондом САПР, база данных вместе с СУБД носит название банка данных;
- *лингвистическое*, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;
- *методическое*, включающее различные методики проектирования; иногда к нему относят также математическое обеспечение;
- *организационное*, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, которые регламентируют работу проектного предприятия.

## Разновидности САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам (комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы — ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

- САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами *MCAD (Mechanical CAD)*;
- САПР для радиоэлектроники: системы *ECAD (Electronic CAD)* или *EDA (Electronic Design Automation)*;
- САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР, или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем (БИС); САПР летательных аппаратов; САПР электрических машин и т. п.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, обеспечивающие разные аспекты (страты) проектирования. Так, в составе *MCAD* появляются *CAE/CAD/CAM*-системы.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (*software*), но и технического (*hardware*) обеспечений.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т. е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

В настоящее время широко используют унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра Parasolid фирмы EDS Urographics и ACIS фирмы Intergraph).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах перерабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании *объектов*, подобных щитам управления в системах автоматики.
3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые ПМК, например *имитационного моделирования* производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п. Часто такие САПР относятся к системам САЕ. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.
4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются САЕ/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для

проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяют специализированные системные среды.



## Контрольные вопросы и упражнения

1. Дайте определение САПР.
2. Что является целью функционирования САПР?
3. Что включает полный комплект документации при неавтоматизированном проектировании?
4. Что включает полный комплект документации при автоматизированном проектировании?
5. Что является объектом проектирования?
6. Что является *объектом автоматизации проектирования*?
7. В чем заключается сущность функционирования САПР?
8. Каковы основные черты современных САПР?
9. Какие преимущества дает имитационное моделирование?
10. Перечислите принципы создания САПР.
11. В чем заключается принцип информационного единства САПР?
12. В чем заключается принцип совместимости САПР?
13. Что значит "открытая структура САПР"?
14. Что означает "принцип инвариантности САПР"?
15. Что включает в себя понятие "Жизненный цикл промышленных изделий"?
16. Перечислите разновидности САПР.

## Лекция 4: Техническое обеспечение САПР

### 1. Требования, предъявляемые к техническому обеспечению САПР

Используемые в САПР технические средства должны обеспечивать:

- выполнение всех необходимых *проектных процедур*, для которых имеется соответствующее программное обеспечение;
- взаимодействие между проектировщиками и ЭВМ, поддержку интерактивного режима работы;
- взаимодействие между членами коллектива, работающими над общим проектом.

Первое из этих требований выполняется при наличии в САПР вычислительных машин и систем с достаточными производительностью и емкостью памяти.

Второе требование относится к пользовательскому интерфейсу и выполняется за счет включения в САПР удобных средств ввода/вывода данных и, прежде всего, устройств обмена графической информацией.

Третье требование обуславливает объединение аппаратных средств САПР в вычислительную сеть.

В результате общая структура технического обеспечения (ТО) САПР представляет собой сеть узлов, связанных между собой средой передачи данных (рис.1). Узлами (станциями данных) являются рабочие места проектировщиков, называемые автоматизированными рабочими местами (АРМ), или рабочими станциями (WS — Workstation); ими могут быть также большие ЭВМ (мейнфреймы), отдельные периферийные и измерительные устройства.

Именно в АРМ должны существовать средства для интерфейса проектировщика с ЭВМ. Что касается вычислительной мощности, то она может быть распределена между различными узлами вычислительной сети.

Среда передачи данных представлена каналами передачи данных, состоящими из линий связи и коммутационного оборудования.

В каждом узле можно выделить оконечное оборудование данных (ООД), выполняющее определенную работу по проектированию, и аппаратуру окончания канала данных (АКД), предназначенную для связи ООД со средой передачи данных. Например, в качестве ООД можно рассматривать персональный компьютер, а в качестве АКД— вставляемую в компьютер сетевую плату.

Канал передачи данных — средство двустороннего обмена данными, включающее в себя АКД и линию связи. Линией связи называют часть физической среды, используемую для распространения сигналов в определенном направлении; примерами *линий связи* могут служить коаксиальный кабель, витая пара проводов, волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС).

Близким является понятие канала (канала связи), под которым понимают средство односторонней передачи данных. Примером *канала связи* может быть полоса частот, выделенная одному передатчику при радиосвязи.



Рис.1. Структура технического обеспечения САПР

В некоторой линии можно образовать несколько каналов связи, по каждому из которых передается своя информация. При этом говорят, что линия разделяется между несколькими каналами.

## 2. Типы сетей

Существуют два метода разделения линии передачи данных: временное мультиплексирование (иначе — разделение по времени, или TDM — Time Division Method ) при котором каждому каналу выделяется некоторый квант времени, и частотное разделение (FDM — Frequency Division Method), при котором каналу выделяется некоторая полоса частот.

В САПР небольших проектных организаций, насчитывающих не более единиц-десятков компьютеров, которые размещены на малых расстояниях один от другого (например, в одной или нескольких соседних комнатах), объединяющая компьютеры сеть является локальной. Локальная

вычислительная сеть (ЛВС), или LAN (Local Area Network), имеет линию связи, к которой подключаются все узлы сети. При этом топология соединений узлов (рис.2) может быть шинная (bus), кольцевая (ring), звездная (star). Протяженность линии и число подключаемых узлов в ЛВС ограничены.

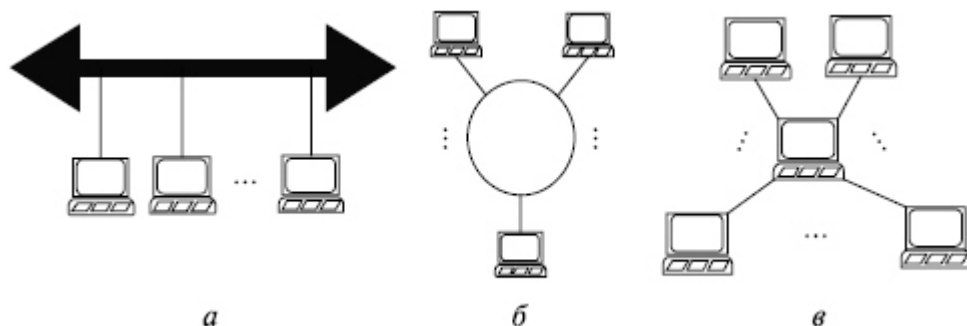


Рис. 2. Варианты топологии локальных вычислительных сетей: а — шинная; б — кольцевая; в — звездная

В более крупных по масштабам проектных организациях в сеть включены десятки-сотни и более компьютеров, относящихся к разным проектным и управленческим подразделениям и размещенных в помещениях одного или нескольких зданий. Такую сеть называют корпоративной. В ее структуре можно выделить ряд ЛВС, называемых подсетями, и средства связи ЛВС между собой. В эти средства входят коммутационные серверы (блоки взаимодействия подсетей). Если коммутационные серверы объединены отделенными от ЛВС подразделений каналами передачи данных, то они образуют новую подсеть, называемую опорной (или транспортной), а вся сеть оказывается частью иерархической структуры.

Если здания проектной организации удалены друг от друга на значительные расстояния (вплоть до их расположения в разных городах), то корпоративная сеть по своим масштабам становится территориальной сетью (WAN — Wide Area Network). В территориальной сети различают магистральные каналы передачи данных (магистральную сеть), имеющие значительную протяженность, и каналы передачи данных, связывающие ЛВС (или совокупность ЛВС отдельного здания или кампуса) с магистральной сетью и называемые абонентской линией или соединением "последней мили".

Обычно создание выделенной магистральной сети, т.е. сети, обслуживающей единственную организацию, обходится для этой организации слишком дорого. Поэтому чаще прибегают к услугам провайдера, т. е. фирмы, предоставляющей телекоммуникационные услуги

многим пользователям. В этом случае внутри корпоративной сети связь на значительных расстояниях осуществляется через **магистральную сеть общего пользования**. Наиболее распространенной формой доступа к этим сетям в настоящее время является обращение к глобальной вычислительной сети Internet.

Для многих корпоративных сетей возможность выхода в Internet является желательной не только для обеспечения взаимосвязи удаленных сотрудников собственной организации, но и для получения других информационных услуг. Развитие виртуальных предприятий, работающих на основе CALS-технологий, с необходимостью подразумевает информационные обмены через территориальные сети, как правило, через Internet. Нужно, однако, отметить, что использование сетей общего пользования существенно усложняет задачу обеспечения информационной безопасности.

Структура ТО САПР для крупной организации представлена на рис. 3. Здесь показана типичная структура крупных корпоративных сетей САПР, называемая архитектурой клиент-сервер. В сетях "клиент-сервер" выделяется один или несколько узлов, называемых серверами, которые выполняют в сети управляющие или общие для многих пользователей проектные функции, а остальные узлы (рабочие места) являются терминальными — их называют клиентами, в них работают пользователи. В общем случае **сервером называют совокупность программных средств, ориентированных на выполнение определенных функций**. Но если эти средства сосредоточены на конкретном узле вычислительной сети, то тогда понятие "сервер" относится именно к узлу сети.

Сети "клиент-сервер" различают по характеру распределения функций между серверами, — другими словами, их классифицируют по типам серверов. Различают файл-серверы для хранения файлов, разделяемых многими пользователями, серверы баз данных АС, серверы приложений для решения конкретных прикладных задач, коммутационные серверы для взаимосвязи сетей и подсетей, специализированные серверы для выполнения определенных телекоммуникационных услуг, например серверы электронной почты.

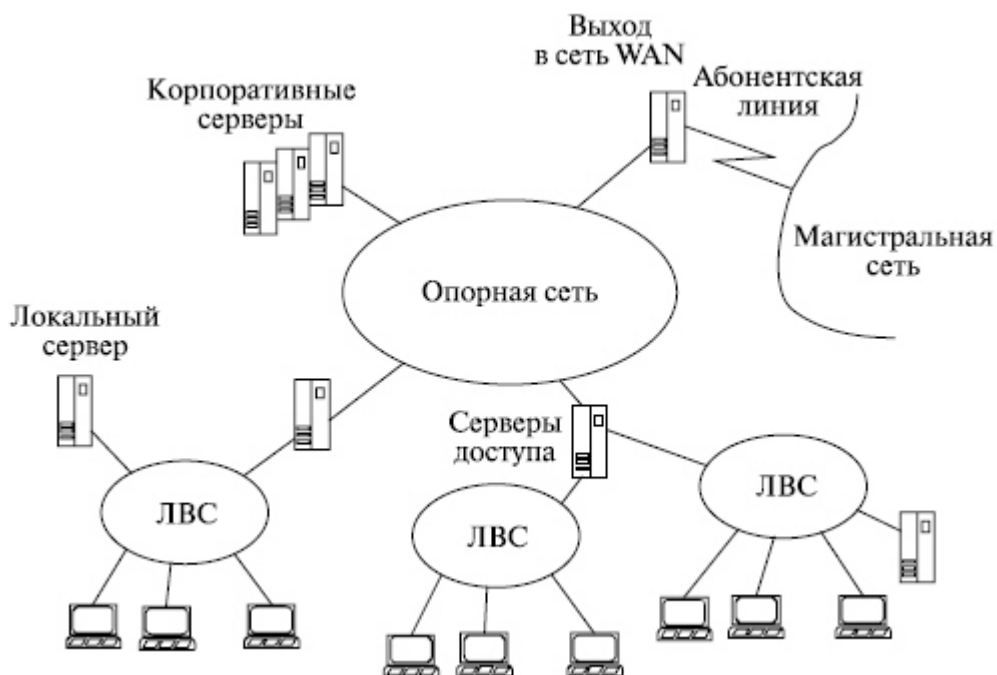


Рис. 3. Структура корпоративной сети САПР

В случае специализации серверов по определенным приложениям сеть называют сетью распределенных вычислений. Если сервер приложений обслуживает пользователей одной ЛВС, то такой сервер называют локальным. Но поскольку в САПР имеются приложения и базы данных, разделяемые пользователями разных подразделений и, следовательно, клиентами разных ЛВС, то соответствующие серверы относят к группе корпоративных, подключаемых обычно к опорной сети.

Наряду с архитектурой "клиент-сервер" применяют одноранговые сети, в которых любой узел в зависимости от решаемой задачи может выполнять функции как сервера, так и клиента. Организация взаимодействия в таких сетях при числе узлов более нескольких десятков становится довольно сложной, поэтому одноранговые сети нашли преимущественное распространение в небольших по масштабам САПР.

В соответствии со способами коммутации различают сети с коммутацией каналов и коммутацией пакетов. В первом случае при обмене данными между узлами А и В сети создается физическое соединение между А и В, которое во время сеанса связи используется только этими абонентами. Примером сети с коммутацией каналов может служить телефонная сеть. Здесь передача информации происходит быстро, но каналы связи используются неэффективно, так как при обмене данными возможны длительные паузы и канал "простаивает". При коммутации пакетов физического соединения, которое в каждый момент сеанса связи соединяло

бы абонентов *A* и *B*, не создается. Сообщения разделяются на порции, называемые пакетами, которые передаются в разветвленной сети от *A* к *B* или обратно через промежуточные узлы с возможной буферизацией (временным запоминанием) в них. Таким образом, любая линия может разделяться многими сообщениями, попеременно пропуская при этом пакеты разных сообщений с максимальным заполнением упомянутых пауз

### 3. Эталонная модель взаимосвязи открытых систем

Для удобства модернизации сложные информационные системы делают максимально открытыми, т. е. приспособленными для внесения изменений в некоторую часть системы при сохранении неизменными остальных частей. В отношении вычислительных сетей реализация концепции открытости привела к появлению эталонной модели взаимосвязи открытых систем (называемую моделью OSI) предложенной Международной организацией стандартизации (*ISO — International Standard Organization*). В этой модели дано описание общих принципов, правил, соглашений, обеспечивающих взаимодействие информационных систем и называемых *протоколами*.

Информационную сеть в OSI рассматривают как совокупность функций (протоколов), которые подразделяют на группы, называемые уровнями. Именно разделение на уровни позволяет вносить изменения в средства реализации одного уровня без перестройки средств других уровней, что значительно упрощает и удешевляет модернизацию средств по мере развития техники.

Различают семь уровней OSI.

На *физическом* (physical) уровне осуществляется представление информации в виде электрических или оптических сигналов, преобразование формы сигналов, выбор параметров физических сред передачи данных, организуется передача информации через физические среды.

На канальном (link) уровне выполняется обмен данными между соседними узлами сети, т.е. узлами, непосредственно связанными физическими соединениями без других промежуточных узлов. Отметим, что пакеты канального уровня обычно называют кадрами.

На сетевом (network) уровне происходит формирование пакетов по правилам тех промежуточных сетей, через которые проходит исходный пакет, и маршрутизация пакетов, т. е. определение и реализация маршрутов, по которым передаются пакеты. Другими словами, маршрутизация сводится к образованию логических каналов. Логическим каналом называют виртуальное соединение двух или более объектов сетевого уровня, при

котором возможен обмен данными между этими объектами. Еще одной важной функцией сетевого уровня после маршрутизации является контроль нагрузки на сеть с целью предотвращения перегрузок, отрицательно влияющих на работу сети.

На транспортном (transport) уровне обеспечивается связь между конечными пунктами (в отличие от предыдущего сетевого уровня, на котором обеспечивается передача данных через промежуточные компоненты сети). К функциям транспортного уровня относятся мультиплексирование и демultipлексирование (сборка/разборка сообщений на пакеты в конечных пунктах), обнаружение и устранение ошибок в переданных данных, задание требуемого уровня услуг (например, заказанных скорости и надежности передачи).

На сеансовом (session) уровне определяются тип связи (дуплекс или полудуплекс), начало и окончание заданий, последовательность и режим обмена запросами и ответами взаимодействующих партнеров.

На представительном (presentation) уровне реализуются функции представления данных (кодирование, форматирование, структурирование). Например, на этом уровне выделенные для передачи данные преобразуются из одного кода в другой, в частности, с целью шифрования.

На прикладном (application) уровне определяются и оформляются в сообщения те данные, которые подлежат передаче по сети.

В конкретных случаях может возникать потребность в реализации лишь части названных функций, тогда, соответственно, сеть будет содержать лишь часть уровней. Так, в простых (неразветвленных) ЛВС отпадает необходимость в средствах сетевого и транспортного уровней. Одновременно сложность функций канального уровня делает целесообразным его разделение в ЛВС на два подуровня:

- управление доступом к каналу (MAC — Medium Access Control );
- управление логическим каналом (LLC — Logical Link Control). К подуровню LLC, в отличие от подуровня MAC, относится часть функций канального уровня, независимых от особенностей передающей среды.

Передача данных через разветвленные сети происходит при использовании инкапсуляции/декапсуляции порций данных. Так, сообщение, пришедшее на транспортный уровень, делится на сегменты, которые получают заголовки и передаются на сетевой уровень.

Сегментом обычно называют пакет транспортного уровня. Сетевой уровень организует передачу данных через промежуточные сети. Для этого сегмент может быть разделен на части (пакеты), если сеть не поддерживает



передачу сегментов целиком. Пакет снабжается своим сетевым заголовком (т. е. происходит инкапсуляция сегмента в пакет сетевого уровня). При передаче между узлами промежуточной *ЛВС* требуется *инкапсуляция пакетов* в кадры с возможной разбивкой пакета. Приемник декапсулирует сегменты и восстанавливает исходное сообщение.

#### 4. Состав технического обеспечения САПР

Техническом обеспечении (ТО) САПР включает в себя вычислительный комплекс (ВК) на базе высокопроизводительной вычислительной техники с большим объемом оперативной и внешней памяти, широким набором периферийных устройств для обеспечения диалогового режима работы, выпуска текстовой и чертежной документации и создания полноценных баз данных.

Целесообразно создавать комплексные САПР на основе двухуровневой иерархической структуры с ЭВМ средней и большой производительности на верхнем уровне и сетью терминальных станций на нижнем уровне.

Выбор типового ВК для верхнего уровня производится в зависимости от сложности объекта проектирования, который определяют согласно государственным стандартам по числу составных частей.

Для верхнего уровня САПР предусмотрен выпуск различных модификаций *ВК* с едиными версиями операционных систем (ОС). В состав типовых *ВК* должны входить ОС для обработки графической информации, специальные графические процессоры, графические периферийные устройства.

В настоящее время сложился устойчиво растущий рынок сбыта аппаратных и программных средств в области САПР, который выработал собственные требования к базовым ЭВМ, периферийным устройствам и ЛВС. В качестве эталонных базовых ЭВМ, находящихся непосредственно на столах проектировщиков РЭС, выступают в течение уже длительного времени рабочие станции (РС), связанные ЛВС между собой и другими ЭВМ. РС имеют существенные отличия от персональных компьютеров (ПК), поскольку требования к РС формируются рынком в области САПР, а требования к ПК — в значительной степени рынком в области офисного оборудования, бытовой техники, средств связи и коммуникаций. РС развивались независимо от ПК, однако удешевление элементной базы РС и повышение требований к техническим характеристикам *ПК* привели к тому, что наиболее мощные модели ПК проникли на рынок средств САПР, конкурируя с недорогими РС.

Особенности архитектуры и технических характеристик РС с точки зрения их применения в качестве базовых вычислительных систем в области САПР РЭС наиболее ясно проявляются при сравнении с ПК.

1. Вычислительным ядром большинства РС является RISC-процессор, т.е. процессор с сокращенным набором команд и повышенным быстродействием — большинство его команд выполняется за один период тактового генератора частоты, синхронизирующего работу такого микропроцессора (МП). Большинство ПК имеет в качестве вычислительного ядра МП со сложным набором команд (CISC-процессор), у которого каждая команда выполняется в несколько тактов генератора частоты. При этом сравнительно более низкая производительность ПК компенсируется более простым программным обеспечением и совместимостью с более ранними моделями ПК.
2. Все современные РС имеют большой объем оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и работают под управлением сложных многозадачных операционных систем с соответствующими аппаратными средствами поддержки. Большая часть ПК имеет несколько меньший объем ОЗУ и работает под управлением более простых однозадачных ОС типа MS-DOS, хотя и имеет средства аппаратной поддержки многозадачности ОС. Эта особенность РС обусловлена сложностью задач и иерархичностью пакетов САПР.
3. Наличие в РС мощных графических процессоров с поддержкой высокоскоростной и высококачественной графики с разрешением не менее 1000x1000 и цветовой палитрой до 1,5 млн цветовых оттенков. В большинстве ПК используется менее высококачественная графика стандарта VGA, SVGA. Эта особенность РС обусловлена тем, что большинство задач САПР требует высококачественного графического ввода/вывода информации.
4. В базовый комплект РС обязательно встраивается аппаратура высокоскоростной связи со стандартной ЛВС— сетевой адаптер. В базовом комплекте ПК обычно не предусмотрено наличие сетевого адаптера. Такая особенность РС обусловлена тем, что РС не может работать эффективно в автономном режиме, без взаимодействия с другими РС и типами ЭВМ через ЛВС. ПК спроектирован как автономное устройство, поэтому даже при объединении ПК в локальную сеть большинство операций с информацией ПК проводит автономно. Структурная схема типичной РС с подключенными к ней периферийными устройствами показана на рис.4.

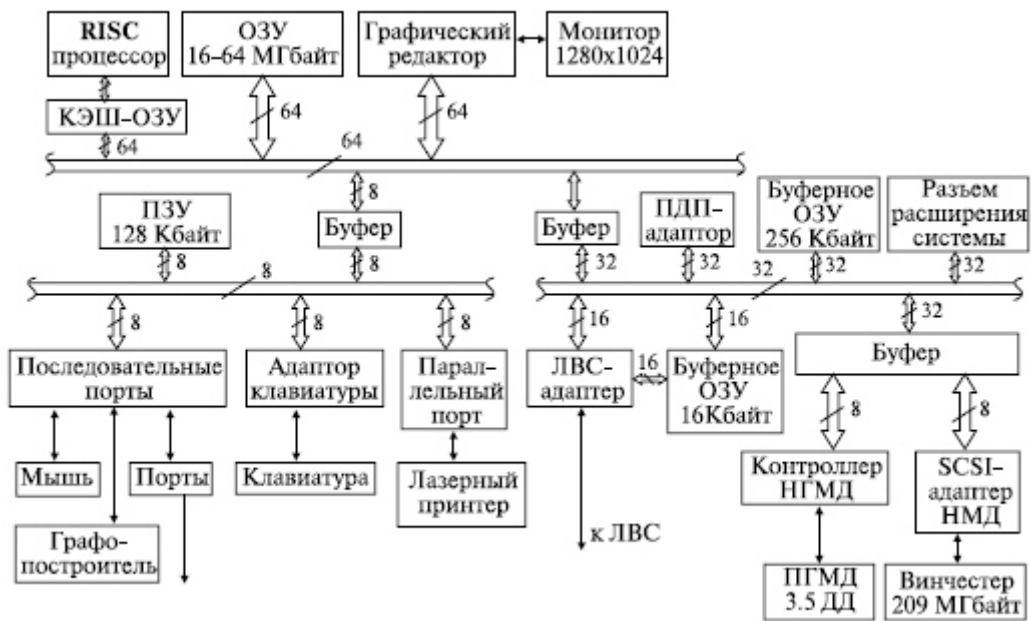


Рис. 4. Архитектура рабочей станции

Базовый набор компонентов РС составляют:

- системная плата, содержащая RISC-процессор с аппаратно реализованным сопроцессором арифметики с плавающей точкой (САПТ), оперативное и постоянное запоминающие устройства (ОЗУ и ПЗУ) и, как правило, графический адаптер с подключенным к нему монитором;
- платы сопряжения с периферийными устройствами, образующие подсистему ввода/вывода с клавиатурой, манипулятором типа "мышь", иногда с автоматическим сканером, графопостроителем или лазерной печатью;
- платы сопряжения с *внешними запоминающими устройствами* (ВЗУ), плата сетевого адаптера.

5. Основой системной платы является базовый МП, осуществляющий арифметические и логические операции, а также управление РС. На одном кристалле современного RISC-МП расположен целочисленный процессор, часто сопроцессор арифметики с плавающей точкой, а иногда и графический процессор обработки изображений (от сотен тысяч до миллионов транзисторов на одном кристалле). В некоторых недорогих вариантах базовых ЭВМ САПР на основе ПК используются МП со сложным набором команд.

РС и ПК являются нижним уровнем технических средств САПР, непосредственно доступным проектировщикам РЭС с помощью САПР.

## 5. Высокопроизводительные технические средства САПР и их комплексирование

Рабочие станции (РС) и персональные компьютеры (ПК) имеют традиционную архитектуру, ориентированную на последовательные вычисления, т.е. одним потоком команд они обрабатывают один поток данных. Такая организация вычислений была предложена фон-Нейманом и названа его именем. Усложнение решаемых задач и вычислительных алгоритмов САПР привело к внедрению в эту область более высокопроизводительных ЭВМ, организация вычислений в которых основана на множественности потоков команд, обрабатывающих множество потоков данных. Архитектура этих ЭВМ называется параллельной — "не фон-неймановской". По множественности/одиночности потоков команд и данных ЭВМ можно разделить на четыре класса, но на практике используются ЭВМ трех классов. На рис. 1 показаны упрощенные структурные схемы трех классов ЭВМ, включающие в себя следующие блоки: ОЗУ команд (ОЗУк), ОЗУ данных (ОЗУд), устройство управления (УУ), центральный процессор (ЦП), а также потоки команд (К) и потоки данных (Д) [18].

ЭВМ класса ОКОД — это традиционные "фон-неймановские" машины с одиночным потоком команд и одиночным потоком данных. К ним относятся РС и ПК. ОКМД ЭВМ — это параллельные компьютеры с одиночным потоком команд и множественными потоками данных. МКМД ЭВМ — это многопроцессорные ЭВМ с множественными потоками команд и множественными потоками данных.

На рис. 1 а, б, в показаны также соответствующие трем классам ЭВМ алгоритмы организации вычислений. Стрелками в них обозначены потоки команд и данных, кружками — выполняемые операторы. В случае ОКОД ЭВМ используется обычный последовательный алгоритм вычислений.

Для организации вычислений в ЭВМ класса ОКМД применяется последовательно-групповой алгоритм. В этом случае группе выполняемых операторов соответствуют операции над векторными и матричными данными. ОКМД ЭВМ реализуются в виде векторных и матричных ЭВМ. Поскольку производительность таких машин велика, их называют суперЭВМ.

Матричная супер-ЭВМ представляет собой матрицу одинаковых процессорных элементов с собственными локальными ОЗУ, причем каждый из процессоров матрицы выполняет в каждый момент времени одну и ту же команду над разными элементами векторных (матричных) данных.

Недостаток матричных ЭВМ — ограниченное количество процессорных элементов в матрице ограничивает производительность ЭВМ: чем длиннее векторы обрабатываемых данных, тем ниже выигрыш в производительности такой матричной супер-ЭВМ перед обычной *ОКОД* ЭВМ, называемой скалярной машиной.

От этого недостатка свободны векторные супер-ЭВМ класса ОКМД. В отличие от матричной, векторная супер-ЭВМ имеет один процессор, но его аппаратура разбита на отдельные секции. При этом каждая секция обрабатывает элемент векторных данных за один и тот же такт времени своей логической подфункцией, на которые разбивается общая логическая функция, описывающая работу векторного процессора. Элементы векторов передаются от секции к секции с каждым новым тактом времени, формируя таким образом непрерывный конвейер обработки векторов. Секции конвейера называют его ступенями. Такие векторные конвейерные супер-ЭВМ оказываются тем более производительнее по сравнению со скалярными, чем длиннее обрабатываемые векторы. Существенный недостаток векторных супер-ЭВМ — резкое снижение производительности при нарушении непрерывного потока данных, поступающих на вход конвейера.

Поскольку алгоритм организации вычислений для ОКМД ЭВМ имеет специальный вид — последовательно-групповой. ЭВМ этого класса называют специализированными, так как они достигают своей пиковой производительности лишь на определенном классе задач. В области САПР такие супер-ЭВМ успешно применяются для формирования реалистичных трехмерных графических изображений и решения ряда задач конструкторского проектирования сложных изделий, где требуется обработка векторов и матриц.

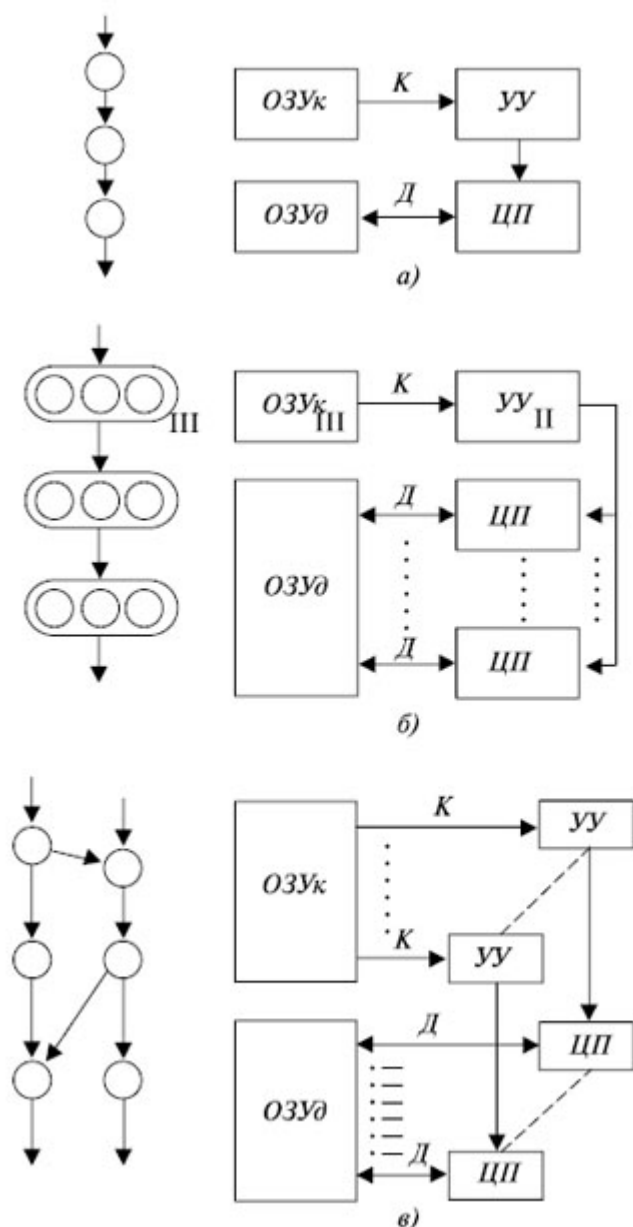


Рис. 1. Классификация параллельных ЭВМ: а) ЭВМ класса ОКМД; алгоритм последовательно-групповой, в) ЭВМ класса МКМД; алгоритм параллельный, слабосвязанный

Супер-ЭВМ класса МКМД называют суперскалярными высокопараллельными многопроцессорными системами. Поскольку эти ЭВМ реализуют алгоритм вычислений со слабосвязанными множественными потоками команд и данных общего вида, они являются универсальными и обеспечивают выигрыш в производительности по сравнению со скалярными на большинстве задач, решаемых в области САПР. Супер-ЭВМ этого класса имеют множество процессоров, причем каждый из процессоров обрабатывает свои данные под управлением своего потока команд. Наиболее сложной проблемой для таких супер-ЭВМ является синхронизация обмена

данными между задачами, запущенными на нескольких процессорах, и синхронизация ожидания одних запущенных задач (процессов) другими.

Аппаратная связь между процессорами МКМД ЭВМ осуществляется тремя способами:

- использование общей шины, соединяющей несколько процессоров;
- использование общего многопортового ОЗУ, доступного для всех МП;
- использование микросхем коммутации перекрестных связей, осуществляющих переключения информационных связей МП между собой по принципу "каждый с каждым".

При наличии общей шины, соединяющей несколько МП, возникают конфликты между МП за право монопольного обмена по шине, что снижает эффективность такой ЭВМ. Этот недостаток привел к тому, что в настоящее время такой вид связи между МП почти не применяется.

Использование общего многопортового ОЗУ предъявляет очень жесткие требования к устройству управления ОЗУ и к надежности самой памяти. Несмотря на этот недостаток, *МКМД* супер-ЭВМ с общей многопортовой памятью довольно широко используются в САПР.

Наиболее перспективны многопроцессорные комплексы, в которых отдельные МП соединяются друг с другом с помощью коммутаторов перекрестных связей на основе быстро развивающихся КМОП-переключателей.

Поскольку в параллельных ЭВМ трудно теоретически оценить производительность для решения различного класса задач, их производительность оценивается экспериментально с использованием текстовых пакетов и выражается в миллионах операций с плавающей точкой в секунду — Мфлопс.

Параллельные супер-ЭВМ — это уникальные дорогие компьютеры, поэтому они являются ЭВМ коллективного пользования, работающими под управлением ОС с разделением времени. Они оснащены высокоскоростными адаптерами связи с региональными и глобальными вычислительными сетями и связаны с РС разработчиков РЭС с помощью САПР через сетевые каналы связи.

РС-сервер — это РС с расширенным (по объему или номенклатуре) набором периферийных устройств. В качестве одной из задач в ОС такой станции запускается процесс-сервер-программа, обслуживающая пользователей других РС через сеть, предоставляя им периферию данной РС либо сетевое соединение через региональную сеть с супер-ЭВМ. В соответствии с этим различают файл-серверы (РС с дополнительными ВЗУ), серверы сетевой связи (РС с расширенным набором сетевых адаптеров

данной ЛВС с другими — ЭВМ-шлюз), вычислительные серверы (РС с повышенной производительностью) и т. д. Все эти РС, ПК и ЭВМ других классов объединяются (комплексуются) для эффективного использования области САПР вычислительными сетями.

Преимущества такого комплексирования заключаются в расширении функциональных возможностей САПР (каждый пользователь в том или ином подразделении имеет доступ к базам данных и программным средствам в других территориально удаленных подразделениях), в оптимизации распределения нагрузки между различными ЭВМ, в коллективном использовании дорогостоящей графической периферии, в повышении надежности функционирования технических средств САПР.

Существует следующая классификация вычислительных сетей:

- по топологии связей: радиальные (звездообразные), магистральные, кольцевые, радиально-кольцевые, древовидные, полные (многосвязные);
- по составу ЭВМ: однородные и неоднородные;
- по способу передачи данных: сети с коммутацией каналов, сообщений или пакетов;
- по способу управления: централизованные (с централизованным управлением) и децентрализованные;
- по удаленности узлов: локальные (в пределах здания, ряда зданий), региональные (охватывающие регион, область) и глобальные (охватывающие страны и континенты).

## **6. Режимы работы технических средств САПР**

Состав технических средств базовых конфигураций САПР различных уровней в значительной степени определяется характером проектных задач. Существует взаимосвязь между классом решаемых задач и режимом использования ЭВМ. Рассмотрим задачи, решаемые в САПР, с целью выделения характеристик, определяющих выбор различных режимов работы ЭВМ.

По характеру вычислительного процесса решаемые задачи можно разделить на две основные группы: задачи, решаемые без участия пользователя, и задачи, в процессе решения которых необходимо участие пользователя.

По сложности вычисления задачи бывают:

- первой группы: задачи, на решение которых требуется более нескольких минут; задачи, время счета которых измеряется секундами;



- второй группы: время взаимодействия с пользователем соизмеримо с временем счета задачи; время решения велико по сравнению со временем диалога.

По объему информации задачи, решаемые в САПР, можно разделить на монопольно использующие основную память ЭВМ и частично использующие основную память ЭВМ.

Исходя из этой классификации решаемых задач САПР можно выделить следующие необходимые режимы работы технических средств:

- однопрограммный режим, при котором решаемой задаче доступны все ресурсы ЭВМ;
- мультипрограммный режим с фиксированным количеством задач; при таком режиме ОП ЭВМ делится на фиксированное число разделов, которые определены для выполнения одной задачи в каждом; некоторые внешние устройства (ВУ) могут быть назначены для использования несколькими задачами;
- мультипрограммный режим с переменным числом задач, все ресурсы ЭВМ общие.

Режим работы технических средств можно классифицировать по удалению проектировщика от основного компонента технических средств:

- местный режим, при котором пользователь работает непосредственно у ЭВМ;
- дистанционный режим, при котором часть периферийного оборудования связана с процессором канала связи.

Режим работы технических средств можно классифицировать по степени участия пользователя в процессе решения задач:

- пакетный режим, когда пользователь составляет задание на выполнение программы, которое в составе *пакета заданий* запускается для обработки на ЭВМ. Обработка задач производится по очереди. После решения пользователю требуется проанализировать результаты обработки своего задания и подготовить новый вариант, что замедляет отладку и увеличивает время получения окончательных результатов;
- режим разделения времени (РРВ), при котором каждой решаемой задаче поочередно выделяется определенный квант времени работы процессора. Пользователь во время сеанса работы за абонентским пунктом, используя средства системы разделения времени (СРВ), может составить, протранслировать, отредактировать программу и приступить к ее выполнению, непосредственно контролируя происходящий процесс. Степень готовности программы зависит от подготовленности пользователя к работе с СРВ.

От выбора правильного режима использования технических средств САПР зависит эффективность эксплуатации технических средств. Поэтому при создании конкретной САПР определенного уровня необходимо провести четкий анализ решаемых задач.

Пакетный режим обработки информации предпочтительнее для задач с большим временем счета и задач, не требующих вмешательства в процесс решения пользователя.

Режим разделения времени удобнее для задач, время счета у которых соизмеримо со временем отклика пользователя на запрос ЭВМ, а также когда необходимо вмешательство пользователя в процесс решения.

## **7. Вычислительные сети САПР**

Эволюция развития комплекса технических средств САПР характеризуется созданием территориально рассредоточенных многомашинных систем сбора, хранения и обработки информации, реализованных в виде вычислительных сетей. Последние, рассредоточенные на небольших территориях предприятий и объединяющие в единую информационную систему автоматизированные рабочие места пользователей, ЭВМ и микро-ЭВМ, графопостроители, терминальные станции и другую специализированную аппаратуру, называют локальными вычислительными сетями (ЛВС). ЛВС имеют открытую архитектуру, обеспечивающую возможность подключения к сети любых других ЛВС, в том числе и крупных сетей ЭВМ. Основное достоинство ЛВС — низкая стоимость системы передачи данных.

Локальные вычислительные сети САПР должны обеспечивать: использование режимов пакетной и диалоговой обработки, разделения времени, виртуальной памяти; экономичную обработку информации по принципу "наиболее важные процессы САПР выполняются техническими средствами с развитым программным обеспечением и высокой производительностью, наименее ответственные — на дешевых мини- и микро-ЭВМ"; высокую надежность и достоверность функционирования, высокую производительность; применение разнообразного проблемно-ориентированного ПО, централизованных и локальных БД с необходимым объемом памяти; работу с автоматизированными рабочими местами различного назначения и с другим специализированным оборудованием; централизованную и децентрализованную обработку информации.

Использование ЛВС позволяет создать САПР нового поколения, объединяющие контрольно-измерительные комплексы и места сбора

информации с автоматизированными рабочими местами схемотехников, конструкторов, механиков и т. д.

Основное назначение ЛВС — распределение ресурсов ЭВМ (программ, совокупности периферийных устройств, терминалов, памяти) для эффективного решения задач автоматизированного проектирования. Локальные ВС должны иметь надежную, быструю и дешевую систему передачи данных (СПД), а стоимость передачи единицы информации должна быть значительно ниже стоимости обработки единицы информации. Для достижения этого ЛВС как система распределенных ресурсов должна выполняться на основе следующих принципов.

*Принцип единых протоколов.* Протоколы межмашинной связи в ЛВС предназначены для организации обмена информацией между компонентами сети. Протоколы сети определяют форму сообщения или пакета сообщений (длину, заголовок, знак окончания, дополнительную информацию для повышения достоверности передачи и др.). Все процедуры управления и соответствующие им протоколы едины для всей сети и не зависят ни от типа ЭВМ, подключенных к сети, ни от происходящих в них процессов.

*Принцип единой передающей среды.* При построении СПД для ЛВС используют активную или пассивную структуру передающей среды.

Активная структура выполняется на основе распределенных усилителей и преобразователей, обеспечивающих передачу информации в параллельном и последовательном кодах. Пассивная структура выполняется на основе пассивного носителя — коаксиального либо плоского кабеля. Она использует преобразователи-усилители одного типа. Это обеспечивает возможность работы либо в параллельном, либо в последовательном коде.

Структура передающей среды может быть реализована с применением либо моноканала, либо многопроводной связи. Более дешевой (для ЛВС — более предпочтительной) является структура с моноканалами, поскольку существенно снижаются издержки на эксплуатацию и прокладку соединений. Моноканалами являются физическая среда, аппаратные и, возможно, программные средства, предназначенные для параллельной передачи одновременно (с точностью до времени распространения сигнала) всем абонентским системам. Моноканал предназначен для коллективного использования большим числом абонентских систем, поэтому должен обладать высокой пропускной способностью передачи информации.

Физическая среда моноканала реализуется посредством волоконнооптических линий связи, коаксиальных или плоских кабелей, скрученных пар проводов и т. д.

Принцип единого метода управления. Протоколы ЛВС могут применять централизованные и децентрализованные формы управления одноузловой структурой моноканала. Принцип единого метода управления проявляется в выборе одной из этих форм, обеспечивающей достаточную надежность работы СПД и максимальную загрузку каналов связи. При этом для определения метода управления следует учитывать структуру соединений, их длину, число абонентов и сложность обработки информации с помощью ресурсов ЛВС.

Для централизованных форм управления характерны обилие служебной информации и приоритетность подключаемых к моноканалу станций. Защита от конфликтов в моноканале реализуется центральной управляющей машиной.

В децентрализованных формах управления, которые допускают одинаковый приоритет всех станций, подключаемых к моноканалу, применяют многоступенчатые тракты защиты от конфликтов. Они учитывают противоречивые требования надежности и максимальной загрузки моноканала.

При использовании в ЛВС нескольких методов управления средой передачи данных существенно увеличивается сложность схемных решений контроллеров, с помощью которых станции ЛВС подключаются к среде передачи данных.

Принцип информационной и программной совместимости предусматривает совместимость операционных систем, программ и систем управления базами данных (СУБД), рассредоточенных в рамках ЛВС.

Особенность этого принципа — возможность адаптации процессов к видам пересылаемой информации и применение единых систем кодирования и контроля информации.

Принцип гибкой модульной организации предусматривает проектирование СПД ЛВС на основе набора гибких конструктивно законченных модулей.

Локальные вычислительные сети классифицируют:

- по топологическим признакам: иерархической, кольцевой и звездообразной конфигурации, конфигурации типа "общая шина";
- по методам управления ресурсами среды передачи данных: с детерминированным и случайным доступом к моноканалу;
- по программному обеспечению: с единой операционной поддержкой и едиными методами теледоступа, ориентированными на конкретную ЛВС и ЛВС с различными наборами тех и других компонентов операционной поддержки;

- по методу передачи данных: сети с коммутацией каналов, с коммутацией сообщений и коммутацией пакетов, причем в современных ЛВС характерно использование коммутации пакетов;
- по техническому обеспечению: гомогенные и гетерогенные ЛВС.

Первые предусматривают применение в станциях однотипного оборудования, например, только комплексов машинной графики. Вторые дают возможность подключения любых абонентских комплексов — от устройств выдачи конструкторской документации до высокопроизводительных вычислительных комплексов с развитой терминальной сетью.

Анализируя способы реализации технического обеспечения САПР на базе стандартных многоуровневых структур вычислительных центров коллективного пользования и на базе ЛВС, можно сделать следующие выводы. Сетевая архитектура по сравнению со стандартной многоуровневой имеет много преимуществ:

- возможность взаимодействия с одного и того же терминала с ресурсами всех рабочих и терминальных машин ЛВС;
- обеспечение высокой надежности обработки путем замены вышедшей из строя рабочей машины — резервной;
- повышение эффективности функционирования ЭВМ за счет их специализации на выполнение определенных функций хранения и управления данными, геометрического моделирования, подготовки управляющей информации для программного управляемого оборудования и т. д.

## **8. Разработка технического обеспечения САПР**

Разработка САПР представляет собой комплекс взаимосвязанных работ по созданию математического, программного, технического, информационного и других видов обеспечения систем, ориентированных на автоматизированное проектирование определенного класса объектов (САПР машиностроения, самолетостроения, БИС, ЭВМ и др.).

Принципы организации и стадии разработки САПР регламентированы руководящими и методическими материалами, а также государственными стандартами.

К ТО САПР предъявляются требования возможности организации оперативного взаимодействия проектировщиков с ЭВМ, достаточной производительности вычислительных средств и необходимого объема оперативной памяти для решения задач автоматизированного

проектирования за приемлемое время, возможности одновременной работы нескольких пользователей с ресурсами ТО, высокой надежности, приемлемой стоимости и т. п.

Удовлетворение перечисленных требований возможно только путем организации ТО САПР в виде специализированной иерархической вычислительной системы (ВС) или вычислительной сети с развитым периферийным оборудованием, ориентированным на ввод, обработку и выдачу текстовой и графической информации.

Задача разработки ТО САПР заключается в обосновании, расчете и выборе структуры многоуровневого комплекса технических средств (КТС) САПР, ориентированного на решение задач автоматизированного проектирования определенного класса объектов. Построение КТС может осуществляться путем комплексирования как стандартного оборудования (ЭВМ, каналы, дисплеи, устройства внешней памяти и т.д.), так и специально разработанного для КТС САПР (АРМ, графопостроители, кодировщики и т.д.).

Создание многоуровневых КТС предполагает наличие на высшем уровне одной или нескольких ЭВМ большой производительности. Эти ЭВМ предназначены для решения сложных задач проектирования, требующих больших затрат машинного времени и памяти. На низших уровнях иерархии могут находиться ЭВМ средней производительности, а также мини- и микро-ЭВМ, входящие в состав автоматизированных рабочих мест (АРМ) (терминальные ЭВМ). Эти ЭВМ предназначены для решения сравнительно несложных задач проектирования, для управления работой комплекта периферийного оборудования и для организации обмена информацией между различными уровнями КТС.

Для определения структуры КТС и параметров входящих в него компонентов могут служить ограничения: снизу — на число программ  $N$ , входящих в состав программного обеспечения САПР; сверху — на среднее время  $T$  реакции КТС на поступившую задачу проектирования; снизу — на объем оперативной памяти для хранения программ проектирования; сверху — на время, необходимое процессору для решения усредненной задачи в однопрограммном режиме, а также по номенклатуре периферийного оборудования КТС САПР.

Комплексы технических средств САПР создаются на базе средств вычислительной техники общего назначения — Единой системы ЭВМ, мини- и микро-ЭВМ различных типов.

Единая система ЭВМ представляет собой совокупность технических средств и программного обеспечения, на основе которых можно создавать вычислительные системы различной конфигурации.

Концепции, заложенные в ЕС ЭВМ (программная совместимость, универсальность, модульный принцип построения технических средств и программного обеспечения), позволяют совершенствовать все компоненты системы. С помощью набора команд ЕС ЭВМ производят операции с фиксированной и плавающей запятыми, десятичные операции и операции с полями переменной длины.

Система программного обеспечения ЕС ЭВМ состоит из операционных систем, пакетов прикладных программ и программ технического обслуживания. Она в пакетном режиме выполняет размещение разногабаритных элементов, трассировку соединений и выпуск конструкторско-технологических документов. Подсистема позволяет проектировать печатные платы с переходными металлизированными отверстиями. Выходными документами подсистемы являются фотооригиналы, сборочный чертеж, таблицы цепей, перечень элементов, спецификация.

### **Контрольные вопросы и упражнения**

1. Какие требования предъявляются к *техническому обеспечению САПР*?
2. Что такое "мейнфрейм"?
3. Как представляется среда передачи данных?
4. Что представляет собой канал передачи данных?
5. Назовите методы разделения линии передачи данных.
6. Назовите варианты топологии локальных вычислительных сетей.
7. Что называется сервером?
8. Назовите разновидности серверов.
9. Как осуществляется передача информации в сетях с коммутацией каналов и коммутацией пакетов?
10. Что представляет собой эталонная модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС)?
11. Расскажите об уровнях ЭМВОС.
12. Что называют локальной вычислительной сетью (ЛВС)?
13. Что представляет собой рабочая станция (РС)?
14. Чем отличается РС от персонального компьютера?
15. Что входит в архитектуру РС?

16. Что общего имеют рабочая станция (РС) и персональный компьютер (ПК)?
17. В чем суть "не фон-неймановской" архитектуры?
18. Что представляют собой ЭВМ класса *ОКОД*?
19. Что означает аббревиатура "*ОКМД*"?
20. Поясните работу ЭВМ класса *МКМД*.
21. Что представляет собой РС-сервер?
22. На какие группы делятся решаемые задачи по характеру вычислительного процесса?
23. Как делятся задачи в зависимости от сложности вычисления?
24. Как делятся задачи САПР в зависимости от объема решаемых задач?
25. Назовите режимы работы технических средств по степени участия пользователей.
26. Поясните основное назначение ЛВС.
27. Поясните принцип единых протоколов.
28. Что понимается под принципом единой передающей среды?
29. Что понимается под активной структурой?
30. Что характерно для пассивной структуры?
31. Поясните принцип единого метода управления.
32. Что предусматривает принцип информационной и программной совместимости?
33. Что предусматривает принцип гибкой модульной организации



## Лекция 5: Методическое обеспечение САПР

### 1. Назначение и состав методического обеспечения САПР

*Методическое обеспечение* САПР включает в себя: теорию процессов, происходящих в схемах и конструкциях РЭС; методы анализа и синтеза схем и конструкций радиоэлектронных устройств, систем и их составных частей, их математические модели; математические методы и алгоритмы численного решения систем уравнений, описывающих схемы и конструкции РЭС. Указанные компоненты методического обеспечения составляют ядро САПР. В методическое обеспечение САПР входят также алгоритмические специальные языки программирования, терминология, нормативы, стандарты и другие данные. Разработка методического обеспечения САПР РЭС требует специальных знаний в областях радиотехники, электроники, в частности, системотехники, схемотехники и микроэлектроники, конструирования и технологии производства РЭС. Следовательно, разработка методического обеспечения САПР РЭС — прерогатива специалистов в области радиотехники и электроники.

Обычно в качестве обособленных блоков в методическом обеспечении выделяются математическое и лингвистическое обеспечения.

*Математическое обеспечение* — это совокупность математических моделей, методов и алгоритмов для решения задач автоматизированного проектирования.

*Лингвистическое обеспечение* представляет собой совокупность языков, используемых в САПР для представления информации о проектируемых объектах, процессе и средствах проектирования и для осуществления диалога между проектировщиками и ЭВМ.

Если математическое и лингвистическое обеспечения являются полностью самостоятельными в составе САПР, то под методическим обеспечением САПР понимают входящие в ее состав документы, регламентирующие порядок ее эксплуатации.

Документы (методики, организационные, директивные документы), относящиеся к процессу создания САПР, не входят в состав методического обеспечения. Данное уточнение весьма принципиально, так как даже специалисты в области САПР нередко рассматривают методическое обеспечение САПР как методы их разработки.

Однако отдельные документы, выпущенные при создании и для создания САПР, могут войти в состав САПР и использоваться при ее эксплуатации. Например, для создания САПР разрабатываются структуры и описания баз

данных, инструкции по их заполнению и ведению. Эти документы могут остаться неизменными и стать частью методического обеспечения САПР. Порядок разработки такого рода документов, относящихся к процессу создания САПР и затем включаемых в ее состав, а также обязательный состав эксплуатационных документов определены государственными стандартами.

Компоненты методического обеспечения создаются на основе перспективных методов проектирования, поиска новых принципов действия и технических решений, эффективных математических и других моделей проектируемых объектов, применения методов многовариантного проектирования и оптимизации, использование типовых и стандартных проектных процедур, стандартных вычислительных методов.

Совершенствование организации работ в области автоматизации проектирования направлено на централизованное создание типовых программно-методических комплексов (ПМК) в целях их широкого тиражирования. Такие комплексы должны включать наряду с программами для вычислительной техники и базами данных еще комплекты документации. При применении ПМК указанная документация становится частью методического обеспечения САПР.

## **2. Математическое обеспечение САПР**

Основу этого компонента САПР составляют алгоритмы, по которым разрабатывается программное обеспечение САПР и, следовательно, осуществляется процесс автоматизирования проектирования САПР. Математическое обеспечение (МО) при автоматизированном проектировании в явном виде не используется, а применяется производный от него компонент — программное обеспечение.

Вместе с тем разработка МО является самым сложным этапом создания САПР, от которого при использовании условно одинаковых технических средств в наибольшей степени зависят производительность и эффективность функционирования САПР в целом.

МО любых САПР по назначению и способам реализации делится на две части. Первую составляют математические методы и построенные на их основе математические модели, описывающие объекты проектирования или их части или вычисляющие необходимые свойства и параметры объектов.

Вторую часть составляет формализованное описание технологии автоматизированного проектирования.

В составе любой САПР эти части МО должны органично взаимодействовать.

Способы и средства реализации первой части МО наиболее специфичны в различных САПР и зависят от особенностей процесса проектирования.

Разработка второй части МО намного сложнее. Формализация процессов автоматизированного проектирования в комплексе оказалась более сложной задачей, чем алгоритмизация и программирование отдельных проектных задач. При решении задач данной части должна быть формализована вся логика технологии проектирования, в том числе логика взаимодействия проектировщиков друг с другом с использованием средств автоматизации. Указанные проблемы решаются в настоящее время эмпирическим путем, главным образом методом проб и ошибок.

Следовательно, МО САПР должно описывать во взаимосвязи объект, процесс и средства автоматизации проектирования. Для совершенствования МО выделяют два направления работ:

1. Развитие методов получения оптимальных проектных решений, в том числе ориентированных на автоматизированное проектирование.
2. Совершенствование и типизацию самих процессов автоматизированного проектирования.

Анализ существующих методов решения оптимизационных задач автоматизированного проектирования показал следующее:

- к числу важнейших вопросов методологии современного проектирования относится выбор критериев эффективности вариантов проектных решений, что, как правило, требует решения многокритериальных задач оптимизации;
- теоретически наиболее эффективными при поиске оптимальных проектных решений являются методы нелинейного математического программирования;
- в связи с практической сложностью и высокой трудоемкостью поиска оптимальных проектных решений с помощью точных математических методов существует поиск эффективных проектных решений на основе создания специальных "банков знаний" (фондов описаний объектов, технических решений, а также типовых эвристических методов).

### **3. Лингвистическое обеспечение САПР**

Это совокупность языков, используемых в процессе разработки и эксплуатации САПР для обмена информацией между человеком и ЭВМ.

Лингвистическое обеспечение САПР состоит из языков программирования, проектирования и управления.

**Языки программирования** служат для разработки и редактирования системного и прикладного программного обеспечения САПР. Они базируются на алгоритмических языках — наборе символов и правил образования конструкций из этих символов для задания алгоритмов решения задач.

**Языки проектирования** — это проблемно-ориентированные языки, служащие для обмена информацией об объектах и процессе проектирования между пользователем и ЭВМ.

**Языки управления** служат для формирования команд управления технологическим оборудованием, устройствами документирования, периферийными устройствами ЭВМ.

Существуют различные уровни языков программирования: высокие, более удобные для пользователя, и низкие, близкие к машинным языкам.

Программа, записанная на некотором языке программирования высокого уровня, называется **исходной**. Прежде чем исходная программа будет исполнена, она должна быть преобразована в машинную форму, соответствующую ЭВМ данного типа. Подобные преобразования осуществляются специальными программами, называемыми **языковыми процессорами**.

Основные типы языковых процессоров — трансляторы и интерпретаторы; соответственно преобразования программ называют трансляцией и интерпретацией.

**Трансляцией** называют перевод всего текста программы на исходном языке (исходной программы) в текст на объектном языке (объектную программу). Если исходный язык является языком высокого уровня, а объектный — машинным, то транслятор называют **компилятором**. Если исходный язык — машинно-ориентированный (в автокоде), а объектный — машинный, то транслятор называют **ассемблером**. Если исходный и объектный языки относятся к одному уровню, то транслятор называют конвертером.

По методу трансляции (компиляции) сначала исходная программа переводится на машинный язык, а затем скомпилированная рабочая программа исполняется.

При интерпретации перевод исходной программы в рабочую совмещены во времени; очередной оператор исходной программы анализируется и тут же исполняется.

В большинстве случаев применение трансляторов приводит к меньшим затратам машинного времени, но к большим затратам машинной памяти, чем при интерпретации.

Совокупность языка программирования и соответствующего ему языкового процессора называют системой программирования.

Классификация языков программирования представлена на рис.1.

Класс машинно-зависимых языков представлен **Ассемблером** (макроассемблером). Он относится к языкам низкого уровня и применяется для написания программ, явно использующих специфику конкретной аппаратуры.

К машинно-ориентированным языкам относится язык СИ (разработан в 1972 г.). В нем объединяются достоинства низкоуровневых возможностей ассемблеров и мощных выразительных средств *языков программирования* высокого уровня. Язык СИ является одним из претендентов на роль основного в САПР и ориентирован на разработку системных программ. Он, в частности, послужил главным инструментом для создания операционных систем для ЭВМ UNIX и MS DOS.

Язык *Фортран* является первым универсальным языком высокого уровня (с 1954 г.). Наиболее эффективен при численных расчетах, прост по структуре и удобен при выполнении программ. Несмотря на свои недостатки, этот язык получил большое распространение при разработке прикладных программ для решения научных задач. Самая популярная версия этого языка — Фортран-77.

Идеи Фортрана получили развитие в языке *PL/I* (создан в 1964 г.). В нем сделана попытка преодолеть некоторые недостатки, свойственные языкам для больших ЭВМ, и использованы идеи структурного программирования. В настоящее время имеются различные версии этого языка: PL/M, PL/Z, PL/65 и др. Как *язык программирования* PL/M, в частности, значительно уступает конкурирующим с ним языкам Паскаль и Модула-2.

Язык *Паскаль* является одним из наиболее популярных языков программирования и применяется для разработки системных и прикладных программ, в частности, для персональных ЭВМ. Язык Паскаль создан вначале исключительно для учебных целей и изящно реализовал большинство идей структурного программирования.

Достоинства языка оказались столь значительными, что он приобрел огромную популярность для самых различных приложений.

В частности, компилятор Turbo Pascal, снабженный интерактивным редактором, позволяет создавать достаточно сложное программное

обеспечение — системы управления базами данных, графические пакеты и т.д.

Развитием Паскаля являются языки Модула-2 (в Европе) и ADA (в США). Язык Модула-2 обладает лучшими средствами для обработки больших программных комплексов и позволяет более эффективно использовать особенности аппаратуры. Таким образом, этот язык призван заполнить ниши между Паскалем и СИ.

Язык ADA можно назвать наиболее универсальным среди созданных языков. Однако трансляторы с этого языка пока не получили достаточного распространения.

Язык Алгол— общепризнанный язык для публикации алгоритмов решения научных задач, построен на четких и полных определениях. Для Алгола характерны строгие, но негибкие структуры данных и программ. Алгол труден для реализации на большинстве ЭВМ, поэтому используются неполные варианты языка или его расширения.



Рис. 1. Классификация языков программирования

Язык АПЛ применяется для обработки структурных данных (векторов, матриц) и использует иероглифическую запись программных текстов. Из-за большого числа иероглифов (около 100) его иногда называют китайским Бейсиком.

К классу проблемно-ориентированных языков можно отнести Лого, CPSS, Форт и Смолток.

Язык *Лого*— диалоговый процедурный язык, реализованный на принципе *интерпретации* и работающий со списками, текстами, графическими средствами и т. д. Язык очень перспективен для обучения, создания электронных игрушек и т. д.

Развитием проблемно-ориентированных языков является объектно-ориентированный подход (языки Смолток, Форт, Модула и ADA. Отличительными особенностями таких языков можно назвать модульность построения процедур, абстракцию данных, динамическую связку программ (позволяет отказаться от перекомпилирования всей программы при внесении изменений в отдельные модули) и использование механизма наследования иерархического типа.

К недостаткам таких языков относятся некоторая замедленность выполнения программ из-за их динамической связи и сложность трансляторов.

Язык *Смолток* предназначен для решения нечисловых задач при построении систем искусственного интеллекта. В языке *Форт* применены структурное программирование и очень компактный машинный код.

Для разработки систем искусственного интеллекта также используются функциональные языки *Лисп*, *Пролог* и *СНОБОЛ*. Эти языки ориентированы на обработку символьной информации, требуют больших массивов данных и стали применяться в ПЭВМ в связи с появлением дешевой полупроводниковой памяти, позволяющей довести объем ОЗУ до нескольких мегабайт. Языки этого класса относятся к так называемым языкам представления знаний.

Язык *Лисп* применяется для программирования интеллектуальных задач — общение на естественном языке, доказательство теорем, принятие решений и т. п.

Язык *Пролог* приобрел в последние годы большую популярность в связи с японским проектом создания вычислительных систем пятого поколения. Он предназначен для создания широкого класса систем искусственного интеллекта, в том числе и персональных экспертных систем.

При использовании САПР приходится не только решать задачи вычислительного характера и обработки данных, но и автоматизировать описание объектов, процессы ввода, вывода и редактирования данных, ввода графических изображений, схем, чертежей и т. п. Для этой цели служат языки проектирования.

Классификация языков проектирования приведена на рис. 2.

Языки проектирования делят на: входные, выходные, сопровождения, промежуточные и внутренние.

*Входные* языки служат для задания исходной информации об объектах и целях проектирования. Во входных языках можно выделить две части: непроцедурную, служащую для описания структур объектов, и процедурную, предназначенную для описания заданий на выполнение проектных операций.



Рис. 2. Классификация языков проектирования

Языки сопровождения служат для непосредственного общения пользователя с ЭВМ и применяются для корректировки и редактирования данных при выполнении проектных процедур. В диалоговых режимах работы с ЭВМ средства языков входного, выходного и сопровождения тесно связаны и объединяются под названием диалогового языка. Современные диалоговые языки широко используют средства машинной графики (графический диалог). Диалог с ЭВМ может быть пассивным, когда инициатор диалога — система и от пользователя требуются только простые ответы, и активным при двусторонней инициативе диалога. Наиболее распространенная форма пассивного диалога — это система встроенных, в том числе иерархических, директивных меню.

Недиалоговые системы языков сопровождения ориентированы на пакетный режим работы ЭВМ.

*Промежуточные языки* используются для описания информации в системах поэтапной трансляции исходных программ. Введение таких языков облегчает адаптацию программных комплексов САПР к новым входным языкам, т.е. делает комплекс открытым по отношению к новым составляющим лингвистического обеспечения.

Внутренние языки устанавливают единую форму представления данных (текстовой и графической информации) в памяти ЭВМ по подсистемам



САПР. Принимаются определенные соглашения об интерфейсах отдельных программ, что делает САПР открытой по отношению к новым элементам программного обеспечения.

В качестве примера современного языка проектирования можно указать язык VHDL (VHSIC — hardware description language) — язык описания аппаратуры на базе сверхвысокоскоростных интегральных схем. Этот язык принят в качестве стандарта как инструментальное средство автоматизации проектирования СБИС, ориентированное на методологию нисходящего проектирования. Он является достаточно универсальным, чтобы охватить все аспекты проектирования изделий в области цифровой электроники.

## Контрольные вопросы и упражнения

1. Что включает в себя методическое обеспечение САПР?
2. Входят ли в состав методического обеспечения документы, посвященные созданию САПР?
3. На основе чего создаются компоненты методического обеспечения?
4. Что составляет основу математического обеспечения САПР?
5. Каковы пути совершенствования математического обеспечения?
6. Назовите языки лингвистического обеспечения САПР.
7. Для чего служат языки программирования?
8. Для чего служат языки проектирования?
9. Для чего служат языки управления?
10. Что называется исходной программой?
11. Каково назначение исходной программы?
12. Каково назначение языкового процессора?
13. Что называется трансляцией?
14. Что называется ассемблером?
15. Что называется системой программирования?

## Лекция 6: Программное обеспечение САПР

### 1. Прикладное программное обеспечение САПР РЭС. Системное программное обеспечение

Программное обеспечение САПР (ПО САПР) представляет собой совокупность всех программ и эксплуатационной документации к ним, необходимых для автоматизированного проектирования. Физически в состав ПО входят:

- документы с текстами программ;
- программы, записанные на машинных носителях информации;
- эксплуатационные документы.

ПО конкретной САПР включает в себя программы и документацию для всех типов ЭВМ, используемых в данной САПР.

Составляющие программного обеспечения САПР, а также требования к его разработке и документированию установлены государственными стандартами.

ПО САПР подразделяется на общесистемное и специализированное.

Общесистемное ПО содержит набор программных средств, которые предназначены для повышения эффективности использования вычислительных комплексов САПР и производительности труда персонала, обслуживающего эти комплексы. К функциям общесистемного ПО относятся:

1. управление процессом вычислений;
2. ввод, вывод и частично обработка информации;
3. диалоговая взаимосвязь с пользователем в процессе проектирования;
4. решение общематематических задач;
5. хранение, поиск, сортировка, модификация данных, необходимых при проектировании, защита их целостности и защита от несанкционированного доступа;
6. контроль и диагностика работы вычислительного комплекса.

Три первые и последняя из указанных функций реализуются в современных вычислительных комплексах на базе операционных систем (ОС), т.е. комплекса программ, управляющих ходом выполнения рабочих программ и использованием всех ресурсов вычислительного комплекса (ВК). Для решения общематематических задач в состав общесистемного ПО включают соответствующие библиотеки стандартных программ. Для хранения и использования различных данных создаются специальные системы управления базами данных (СУБД).

**Специализированное ПО** включает в себя прикладные программы и пакеты прикладных программ (ППП), основной функцией которых является получение проектных решений.

Конкретный состав общесистемного ПО зависит от состава технических средств вычислительного комплекса САПР и устанавливаемых режимов обработки информации на этом комплексе.

Операционные системы включают в себя программы двух групп (рис. 1):

- обрабатывающие программы, составляющие подсистему подготовки программ пользователя (внешнее программное обеспечение);
- управляющие программы, образующие группу исполнения программ пользователя (внутреннее программное обеспечение).
- 



Рис. 1. Структура общесистемного программного обеспечения САПР

К обрабатывающим программам относятся трансляторы с алгоритмических языков, библиотеки стандартных программ и системные обслуживающие программы.

Группа управляющих программ включает в себя программы управления задачами, заданиями и данными.

Программа управления задачами (супервизор, диспетчер, монитор, резидентная программа) находится в оперативной памяти и выполняет все необходимые диспетчерские функции — переключение с выполнения одной программы на другую, распределения ресурсов времени и оперативной памяти между программами. Супервизор реализует мультипрограммный режим работы ЭВМ или режим разделения времени.

Программы управления заданиями выполняют интерпретацию директив языка управления заданиями: ввод, трансляция, загрузка в память ЭВМ, решение, вывод информации.

Программы управления данными обеспечивают поиск, хранение, загрузку в оперативную память и обработку файлов.

Прикладное программное обеспечение представляют пакеты прикладных программ (ППП) для выполнения различных проектных процедур. Они разрабатываются на основе единого внутреннего представления графической и текстовой информации, единого входного языка, строятся по модульному принципу и ориентированы на использование непрограммистом-проектировщиком.

Различают несколько типов ППП в зависимости от состава пакета. Пакеты прикладных программ *простой* структуры характеризуются наличием только обрабатывающей части — набора функциональных программ (модулей), каждая из которых предназначена для выполнения только одной проектной процедуры. Объединение нужных модулей осуществляется средствами операционной системы ЭВМ.

Пакеты прикладных программ сложной структуры и программные системы появились в результате развития прикладного программного обеспечения. В первых из них имеется собственная управляющая часть — монитор, во вторых, кроме того, — языковой процессор с проблемно-ориентированным входным языком. Программные системы вместе с соответствующим лингвистическим и информационным обеспечением называют программно-методическими комплексами САПР.

Управляющая часть программного обеспечения имеет иерархическую организацию, и в общем случае в ней можно выделить различные уровни: уровень операционных систем вычислительной сети, операционных систем отдельных ЭВМ, мониторных систем САПР и мониторов отдельных ППП. Основные функции управляющей части: связь с пользователем в режиме диалога, планирование вычислительного процесса, распределение вычислительных ресурсов, динамическое распределение памяти и другие. Специализированное ПО САПР создается с учетом организации и возможностей общесистемного программного обеспечения. В целом состав и структура ПО определяются составом и структурой САПР и ее подсистем. С развитием и совершенствованием вычислительной техники (ВТ) все большее значение приобретает такой компонент общесистемного программного обеспечения, как операционная система. Возможности, предоставляемые современными вычислительными комплексами, в большей степени определяются их операционными системами (ОС), чем техническими устройствами.

Операционные системы организуют одновременное решение различных задач на ВТ, динамическое распределение каналов передачи

данных и внешних устройств между задачами, планирование потоков задач и последовательности их решения с учетом установленных приоритетов, динамическое распределение памяти вычислительного комплекса, обеспечивают работу в различных режимах (с фиксированным и переменным числом задач в интерактивном режиме).

Операционные системы постоянно совершенствуются, развиваются, создаются новые ОС для новых поколений или семейств ВТ.

Системное программное обеспечение включает программы, осуществляющие управление, контроль и планирование вычислительного процесса, распределение ресурсов, ввод/вывод данных и другие операции в подсистемах САПР. Его подразделяют на две части. Первая часть — общесистемное ПО, которое представлено операционными системами. Они используются в САПР. Другая часть — базовое программное обеспечение, включающее программы обслуживания подсистем САПР (мониторные системы, СУБД, графические и текстовые редакторы).

К программному обеспечению предъявляются следующие требования:

- экономичность (эффективность по быстродействию и затратам памяти);
- удобство использования, применение простых проблемно-ориентированных языков;
- наличие средств диагностики ошибок пользователя;
- надежность и правильность получения результатов проектирования;
- универсальность по отношению к тем или иным ограничениям решаемых задач;
- открытость (адаптируемость) относительно внесения изменений в процессе эксплуатации программ;
- сопровождаемость, характеризующая работоспособность программ при внесении изменений в них;
- мобильность при перестройке программ с ЭВМ одного типа на ЭВМ другого типа.

Программное обеспечение целесообразно разрабатывать на основе принципов модульности и иерархичности. Операционная система является основным компонентом системного программного обеспечения САПР.

Принципы модульности и иерархичности позволяют организовать коллективную параллельную разработку различных частей программного обеспечения, создавать открытые программные системы, облегчают их комплексную отладку и информационное согласование.

Выделяют системный уровень разработки прикладного программного обеспечения, уровень прикладных программ и уровень подпрограмм (модулей).

Связи между отдельными программными модулями могут быть реализованы по управлению, информации, размещению и воздействию.

Связи модулей по управлению могут быть двух типов: последовательные связи между модулями без возврата в предыдущий модуль и иерархические связи с подчиненностью модулей различных уровней.

Связи модулей по информации проявляются в передаче числовых массивов в несколько модулей пакета. Этот аспект взаимодействия модулей затрагивает проблемы построения информационного обеспечения САПР.

Связи модулей по размещению указывают группы модулей, одновременно размещаемых в оперативной памяти на различных этапах проектирования.

Связи модулей по воздействию отражают такие воздействия одних программ на другие, которые приводят к изменению самих программ, например, воздействие языковых процессов на рабочие программы. Внутри рабочих программ связи модулей по воздействию стараются исключить.

К настоящему времени разработано большое количество пакетов прикладных программ САПР электрических и электронных средств. В качестве примеров можно привести ДИСП, САМРИС-2, СПАРС, АРОПС, Топор, КРОСС. Из зарубежных систем можно отметить пакеты Micro CAP, PSPICE, P-CAD, SPADE, Altium Designer.

Значительное число этих пакетов ориентировано на автоматизацию проектирования печатных плат, цифровых и аналоговых интегральных схем, операционных усилителей, низкочастотных радиотехнических устройств.

Однако на данное время существует недостаточно пакетов программ проектирования радиочастотных, в том числе мощных устройств, радиоэлектронных средств СВЧ, пакетов, посвященных комплексному построению и интеграции радиочастотных средств, включающих в себя как усилители, так и пассивные радиочастотные устройства, вплоть до антенн и СВЧ-устройств.

Развитие программного обеспечения САПР требует все более значительных затрат высококвалифицированного труда. Стоимость многих промышленных САПР составляет миллионы долларов. Поэтому актуальной становится разработка САПР второго порядка, или САПР САПРов. В отличие от традиционных САПР, в таких системах результат имеет нематериальный (информационный) характер. Различие результатов вызвано различными языками описания предметных областей: в одном случае — чертежи, схемы, устройства, а в другом — программа проектирования.

Однако и в том, и в другом случае возможен единый системный методологический подход к проектированию: становится актуальным создание и развитие банка инженерных знаний, необходимых для проектирования.

## **2. Программы конструкторского проектирования РЭС**

Существуют чисто конструкторские пакеты, обеспечивающие более полное решение различных задач конструкторского проектирования РЭС.

Пакет программ Altium Designer – это система сквозного автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств на базе печатных плат и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Комплексное решение предполагает, что логика, описанная в схеме, воплощается в топологию печатной платы. Программы осуществляют функции логического моделирования, проверяют соблюдение правил проектирования, создают список соединений для моделирования, автоматически размещают компоненты, трассируют печатную плату и создают документы для автоматизированных производственных систем. Пакет содержит взаимодействующие средства проектирования, удобную для пользователя оболочку и интеллектуальную базу данных, обширную библиотеку, диалоговые редакторы, средства сопряжения с популярными средствами анализа. Пакет имеет открытую архитектуру, обеспечивает выдачу готовых документов для технологии монтажа и другую проектную документацию.

Вывод документации после контроля на дисплее может осуществляться на принтер, плоттер или фотоплоттер. Оболочка системы помогает пользователю двигаться сквозь процесс проектирования с помощью меню, подсказок и правок. Система проектирования печатной платы обеспечивает средства для полной разработки топологии: от диалогового редактора до автоматического размещения компонентов, автотрассировки, проверки соблюдения правил проектирования и сопряжения с производством.

Библиотека пакета содержит обширную информацию о компонентах электронных схем от дискретных и электромеханических деталей до существующих и заказных микросборок интегральных схем. Программные средства сопряжения превращают данные из списка соединения компонентов схемы в формат, необходимый для конкретной программы моделирования цифровой и аналоговой схемы (типа PSPICE). Пакет позволяет проектировать печатные платы, имеющие до 500 элементов и 2000 связей.



Пакет программ Or CAD фирмы Or CAD System Corp. является законченным и гибким программным блоком схемотехнического и конструкторского проектирования. Он обеспечивает ввод и вывод на печать принципиальных схем, трассировку печатной платы и другие операции. Пакет управляется с помощью иерархической разветвленной системы меню, легок в обучении пользованию, обладает многими дополнительными возможностями ввода и вывода схем.

Библиотека пакета содержит более 2700 изображений компонентов РЭС; можно легко создавать собственные начертания элементов. Простым нажатием клавиши легко выполняются многие графические операции при вводе и выводе схем: увеличение и уменьшение масштаба, преобразование (вращение, перенос, отображение) элементов и любых заданных фрагментов схемы. В системе предусмотрены создание перечня элементов (спецификаций), возможность разводки проводников, шин, входов модулей.

Пакет Or CAD в настоящее время является самым удобным и богатым по своим возможностям для ввода и вывода графических изображений принципиальных схем РЭС.

Пакет имеет удобный выход на подсистемы моделирования и анализа РЭС, а также другие графические пакеты (PSPICE, P-CAD).

Пакет универсального назначения AutoCAD фирмы Auto Desk разработан на самом современном уровне машинной графики и предоставляет разработчику исключительно широкие возможности проектирования разнообразных объектов, технических систем и устройств: домов, печатных плат, станков, деталей и одежды. Пакет представляет собой систему автоматизированной разработки чертежей, причем чертежи, рисунки и схемы создаются в интерактивном режиме, управляемом системой иерархических меню. В любой чертеж может быть вставлен поясняющий текст. В набор функций входит панорамирование, увеличение, масштабирование, поворот, секционирование, штриховка и другие операции преобразования изображений. В системе предусмотрены подсказки в любом состоянии и для любой команды.

В пакете разработан богатый выбор драйверов графических устройств — графических дисплеев, матричных принтеров, графических планшетов и плоттеров. Одним из важнейших достоинств пакета является возможность работы с трехмерной графикой, позволяющей строить реальные объекты, которые можно наблюдать в различных ракурсах (при желании невидимые линии на изображении стираются). Применен специальный метод полилиний для вывода сложных кривых контуров деталей.

Система AutoCAD непрерывно совершенствуется. Так, в последние версии системы включен интерпретатор языка Auto Lisp — одной из версий языка LISP, широко применяемого в символьной обработке и в системах искусственного интеллекта. Использование этого языка позволяет пользователю, с одной стороны, определять собственные функции и команды в среде AutoCAD, с другой — обеспечивать связь AutoCAD с другими приложениями.

Сейчас начинают появляться еще более сложные системы, включающие не только язык программирования, но и экспертные системы (экспертные настройки) для принятия решений и подсказок конструктору в процессе разработки. В эти настройки включен набор правил и математических моделей; конструктор в процессе работы может получить "советы" по оптимальному выбору тех или иных параметров разрабатываемой системы.

### **3. Функции и структуры операционных систем**

Функции и структуры операционных систем имеют различия в одно- и многопроцессорных вычислительных системах, многомашинных комплексах и вычислительных сетях. Соответственно этому операционная система должна обеспечить одно- или мультипрограммный режим работы ЭВМ, режим мультиобработки задач, совместное функционирование уровней и подсистем САПР через специальную мониторную систему.

Для персональных ЭВМ наибольшее распространение получили операционные системы UNIX, MS DOS, Windows и другие.

Система UNIX достаточно проста по организации, легко переносится с одной машины на другие, ориентирована на пользователя-программиста. Система UNIX — это мультипрограммная система с коллективным доступом. Она обладает целым рядом достоинств: возможностью организации многоуровневой и многозадачной работы, высокой мобильностью, иерархической файловой структурой, гибким и богатым командным языком, богатой библиотекой сервисных процедур и функций. Эта система в настоящее время главным образом используется в исследовательских и учебных целях.

Широкое распространение в ПЭВМ получила операционная система MS DOS, являющаяся базовой для ЭВМ серии IBM PC и стандартом операционной системы для 16- и 32-разрядных персональных компьютеров. Система имеет развитый командный язык, возможности организации многоуровневых каталогов, работы с последовательными устройствами как с

файлами, подключения дополнительных драйверов внешних устройств. Имеются *трансляторы* практически для всех популярных языков высокого уровня.

Важным достоинством операционных систем является возможность поддержки в ОЗУ так называемых *виртуальных* дисков. Под виртуальным диском понимается область ОЗУ, обращение к которой происходит точно так же, как если бы это был реальный физический диск. Подобное построение системы позволяет существенно повысить скорость записи и доступа к информации и значительно снизить нагрузку (число обращений) на реальный диск.

Для персональных ЭВМ разработан новый класс общесистемного программного обеспечения — так называемые программы-оболочки, которые существенно расширяют и дополняют понятие операционной системы. В традиционных операционных системах управляющие команды вводятся с клавиатуры; такой способ взаимодействия не нагляден и недостаточно удобен. С использованием программ-оболочек в полноэкранный режим выполняются наиболее часто встречающиеся операции при работе с системой: просмотр содержимого каталога на дисках, переход из одного каталога в другой, копирование, перемещение и удаление файлов, запуск программ. Примерами таких программ-оболочек являются Norton Commander, Windows. Некоторые современные операционные системы имеют собственные программы-оболочки.

В последние годы началось активное вторжение персональных ЭВМ в обработку текстов, графических данных и т.д. В связи с этим специальным классом программного обеспечения выделились интегрированные пакеты программ, текстовые редакторы и динамические электронные таблицы.

Интересными программами являются динамические электронные таблицы, в ячейках которых могут помещаться тексты, числа и математические формулы, устанавливающие взаимосвязь между элементами ячеек. При работе программы может быть построена и рассчитана модель сложной системы, например предприятия, учреждения, другого экономического объекта. Современные динамические электронные таблицы (например, Lotus 1-2-3 FRAME WORK) включают в себя кроме собственно таблицы также текстовый редактор, СУБД, подсистему машинной графики, полиэкранный интерфейс, средства телекоммуникационной связи.

## Контрольные вопросы и упражнения

1. Что представляет собой ПО САПР?
2. Перечислите документы, которые входят в состав ПО САПР.
3. Какова структура общесистемного ПО?
4. Поясните классы системного ПО.
5. Приведите примеры операционных систем для ПЭВМ.
6. Приведите основные характеристики и примеры прикладного программного обеспечения САПР РЭС.
7. Какие функции выполняет программа управления задачами?
8. Какие функции выполняет программа управления заданиями?
9. Что представляет собой *ППП*?
10. Что характерно для *ППП* простой структуры?
11. Чем характеризуется *ППП* сложной структуры и программные системы?
12. Что называется программно-методическим комплексом САПР?
13. Какие функции выполняет операционная система?
14. Перечислите связи между отдельными программными модулями.
15. Какие *ППП* используются для проектирования РЭС?

## Лекция 7: Информационное обеспечение САПР

### 1. Назначение, сущность и составные части информационного обеспечения (ИО) САПР

Основное назначение ИО САПР — уменьшение объемов информации, требуемой в процессе проектирования от разработчика РЭС, и исключение дублирования данных в прикладном, программном и техническом обеспечении САПР.

ИО САПР состоит из описания стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, типовых элементов РЭС, комплектующих изделий и их моделей, материалов, числовых значений параметров и других данных. Эти данные в закодированной форме записываются на машинных носителях: магнитных лентах и магнитных дисках.

Кроме того, в *ИО САПР* входят правила и нормы проектирования, содержащиеся в соответствующей нормативно-технической документации, а также информация о правилах документирования результатов проектирования. Структура и содержание ИО САПР, а также характер его использования зависят от степени развития банка данных.

Данные ИО обычно группируются в отдельные массивы, каждый из которых относится к определенному объекту описания. Такие массивы называются файлами. Вся совокупность файлов образует **базу данных**, которую можно многократно использовать при проектировании различных РЭС для различных этапов и уровней.

Для создания, расширения, корректировки и коллективного использования данных создаются специальные системы управления базами данных (СУБД). Совокупность баз данных, систем управления файлами, а также относящихся к ним программных, языковых, технических и организационных средств называется банком данных. Следовательно, банки данных (БНД) являются составной частью ИО САПР и состоят из баз данных (БД) и систем управления базами данных (СУБД). БНД создаются как обслуживающие подсистемы САПР и предназначены для автоматизированного обеспечения необходимыми данными проектирующих подсистем САПР. По назначению СУБД является элементом информационного обеспечения, так как организует автоматизированное обеспечение проектировщика информацией, а по содержанию это комплекс программ, то есть элемент программного обеспечения.

Состав БД определяют с учетом характеристик объектов проектирования (технических, метрологических, эксплуатационных), характеристик процесса

проектирования ( типовые проектные решения, описания технологических операций с вариантами их реализации), действующих нормативных и справочных данных, ранее созданных в организации информационных массивов.

Основные требования к базам данных:

- установление многосторонних связей по производительности — пропускной способности;
- минимальная избыточность по затратам на создание и эксплуатацию БД;
- целостность и возможность поиска данных;
- безопасность и секретность от несанкционированного доступа;
- связь с разработанными и проектируемыми БД;
- простота;
- возможность настройки и перемещения данных.

Последние требования составляют концепцию автоматизированных информационных систем, обладающих адаптацией СУБД к данной предметной области с учетом динамики ее развития.

База данных характеризуется двумя аспектами: информационным и манипуляционным. Первый отражает структуру данных, наиболее подходящую для данной предметной области; второй — действия над структурами данных: выборку, добавление, удаление, обновление и преобразование данных.

При построении БД должен выполняться принцип информационного единства, то есть должны применяться термины, символы, условные обозначения, проблемно-ориентированные языки и другие способы представления информации, принятые в САПР. В качестве основных логических структур баз данных могут использоваться: иерархическая, сетевая, реляционная, смешанная (представляющая собой различные сочетания перечисленных выше структур).

Содержание, структура и организация использования БД должны обеспечивать:

- объединение любого числа БД любого объема, допускающее совместное использование общих данных различными подсистемами САПР для разных задач;
- возможность наращивания БД, достоверность и непротиворечивость данных, минимальный объем памяти ЭВМ для их хранения;
- защиту и регулирование возможности доступа к БД;
- многократное использование данных.

Проблема согласования программ является прежде всего проблемой выбора структур данных и массивов в памяти ЭВМ. Если программы

рассчитаны на работу с общими данными, сгруппированными по-разному, то такие программы не являются информационно согласованными и не могут непосредственно войти в сочетание программ, обслуживающих некоторый маршрут проектирования. Для обеспечения взаимодействия программ в маршрутах необходимо их информационное согласование, то есть приспособление к работе с информационными массивами одинаковой структуры.

Информационная согласованность программ обеспечивается построением общей для согласуемых программ БД, то есть совокупности всех тех данных, которые обрабатываются в более чем одной программе (модуле).

В БД можно выделить части, играющие различную роль в процессе проектирования.

Первая часть — СПРАВОЧНИК— содержит справочные данные о ГОСТах, нормах, унифицированных элементах, ранее выполненных типовых проектах. Эта часть изменяется наименее часто, характеризуется однократной *записью* и многократным считыванием и называется постоянной частью *БД*.

Вторая часть — ПРОЕКТ — содержит сведения об аппаратуре, находящейся в процессе проектирования. В нее входят результаты решения проектных задач, полученные к текущему моменту (различного типа схемы, спецификации, таблицы соединений, тесты). *ПРОЕКТ* пополняется или изменяется по мере завершения очередных итераций на этапах проектирования и составляет полупеременную часть *БД*.

Часто СПРАВОЧНИК и ПРОЕКТ объединяют под общим названием АРХИВ.

Третья часть БД содержит массивы переменных, значения которых важны только в процессе совместного решения двумя (или более) программами конкретной задачи проектирования. Это переменная часть БД.

Первый способ информационного согласования программ — построение централизованной БД, общей для всех модулей программного обеспечения (рис. 1).

В соответствии с этим способом при создании САПР сначала разрабатывается БД, а затем — программное обеспечение.

Реализация централизованной БД — сложная задача, т. к. выбранная структура БД не всегда может обеспечить реализацию всех необходимых маршрутов проектирования. Например, ранее принятая структура БД может не удовлетворять требованиям новых элементов информационного и программного обеспечения.

Поэтому второй способ информационного согласования программ — построение системы, в которой несколько частных баз данных сопрягаются с помощью специального программного интерфейса, как показано на рис. 2.

Интерфейс представляет собой программы перекомпоновки информационных массивов из форматов и структур одной БД в форматы и структуры, принятые в другой БД.

Основные операции в БД — выборка данных прикладными программами, запись новых данных, удаление старых ненужных записей, перезапись файлов с одних машинных носителей на другие и так далее.

Для выполнения большинства из этих операций требуется специальное программное обеспечение.

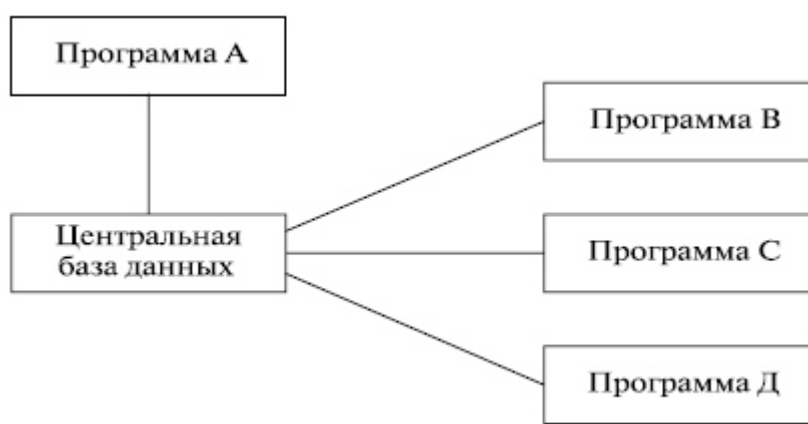


Рис. 1. Структура программного обеспечения при централизованной БД



Рис. 2. Структура программного обеспечения при частных БД

Совокупность программ, обслуживающих БД, называется системой управления базой данных СУБД. БД и СУБД вместе образуют БАНК ДАННЫХ.



Логическое представление БД отображает только состав сведений и связи между элементами сведений, хранящихся в БД.

Физическое представление БД отображает способ расположения информации на машинных носителях.

Структуру БД можно представить в виде графа. Каждая вершина графа отображает группу однотипных записей (группы взаимосвязанных элементов данных), то есть каждой вершине можно поставить в соответствие таблицу, содержащую конкретные значения (экземпляры) записей.

БД, для логического представления которых используются графы, называют СЕТЕВЫМИ. Обычно в сетевых БД в графах, изображающих структуру, можно указать те или иные циклы.

В частном случае сетевых БД граф может представлять собой дерево. В частности, если устранить из БД все сведения, кроме одного номинального, то структура представляется деревом. Такую структуру называют ДРЕВОВИДНОЙ или ИЕРАРХИЧЕСКОЙ. Реализация древовидной структуры проще, чем сетевой структуры общего вида, однако чаще реальные данные имеют сложные сетевые структуры.

Наряду с сетевым подходом к представлению БД существует другой подход, основанный на операции нормализации структуры. Этот подход приводит к логическому представлению БД в виде совокупности таблиц. Такие базы данных называют РЕЛЯЦИОННЫМИ БД.

Реляционная БД представляет собой совокупность таблиц при условии, что сведения о связях между таблицами удастся включить в сами эти таблицы. Включение таких сведений обеспечивается нормализацией. Сетевые и реляционные базы данных имеют свои преимущества и недостатки. В настоящее время развиваются оба направления в логической организации БД.

## 2. Уровни представления данных

Существует три *уровня* представления данных: уровень пользователя (предметная область), логический и физический.

Каждый объект предметной области характеризуется своими атрибутами, каждый атрибут имеет имя и значение. Например, объект осциллограф. Имена его атрибутов — частота повторения, чувствительность, полоса пропускания; значения атрибутов — соответствующие значения параметров. Или объект транзистор, имена его атрибутов — наименования параметров, значения атрибутов — значения параметров и т.д.

Логический (концептуальный) уровень — это абстрактное представление (абстрактный уровень) данных, независимое от представления в ЭВМ.

Физический уровень — это практическая реализация *базы данных* на том или ином носителе в ЭВМ. Сюда входят и программные средства управления этими носителями.

Связь между этими тремя *уровнями представления данных* показана в таблице 1.

**Таблица 1.**

Предметная область		Логический уровень		Физический уровень
Вся предметная область		Библиотека		База данных
Подмножество объектов предметной области		Запись		Список
Атрибут	имя	Поля	имя поля	Элемент (сегмент)
	значение		значение поля	

Вся совокупность информации, описывающей один объект предметной области на логическом уровне, называется записью. Запись полностью характеризует объект и все его атрибуты.

Совокупность записей об одной и той же категории объектов образует файл. Запись состоит из полей, каждое поле соответствует одному из атрибутов. Содержание поля описывает имя и значение соответствующего атрибута.

На физическом уровне каждой записи соответствует одна ячейка — область памяти на том или ином носителе, размер которой должен быть достаточен для хранения записи. Каждому полю, описывающему атрибут объекта, соответствует элемент на конкретном носителе; элемент может быть разделен на сегменты.

Совокупность ячеек образует список, соответствующий одному *файлу* на логическом уровне. Каждая ячейка имеет ключевое поле; если номера ячеек возрастают, то файл называют ранжированным. Бывают пустые ячейки; тогда список называют неплотным.

Совокупность файлов на логическом уровне называют библиотекой, соответствующей конкретной рассматриваемой предметной области. На физическом уровне библиотеке соответствует *база данных*.

На логическом уровне данные могут быть представлены тремя способами. В настоящее время существует три модели данных: реляционная, сетевая и иерархическая.

В основу реляционной модели положено понятие теоретико-множественного отношения (реляции), которое представляется в виде таблицы. Она является наиболее удобным инженерным представлением для пользователя (рис. 3 а). Каждый столбец ее соответствует атрибуту объекта, и ему присваивается соответствующее имя. В столбцах таблицы (отношения) вводятся значения атрибутов. Используя отношения связи и язык реляционной алгебры, можно осуществлять выбор любого подмножества информации: по строкам, столбцам или другим признакам. Применяя операции "разрезания" и "склеивания" отношений, можно получить разнообразные файлы в нужной форме (рис.3 б).

При использовании реляционной модели атрибут объекта может сам выступать как объект другой предметной области, т.е. задействуется относительность (отсюда — отношение) понятий объекта и его атрибутов.

Иерархическая модель данных — это некоторая их совокупность, состоящая из отдельных деревьев, в которых все связи направлены от одного сегмента, называемого исходным, к нескольким порожденным, т. е. реализуются связи типа "один ко многим" (рис. 4 а). Сегмент — это одно или несколько полей, являющихся основной единицей обмена между прикладной программой и языком описания данных. При реализации иерархической системы каждое дерево описывается в виде отдельного файла данных.

Сетевая модель данных является более общей структурой по сравнению с иерархической. Каждый отдельный сегмент (ячейка) может иметь произвольное число непосредственных исходных (старших) сегментов, а также и произвольное число порожденных (младших) (рис. 4 б).

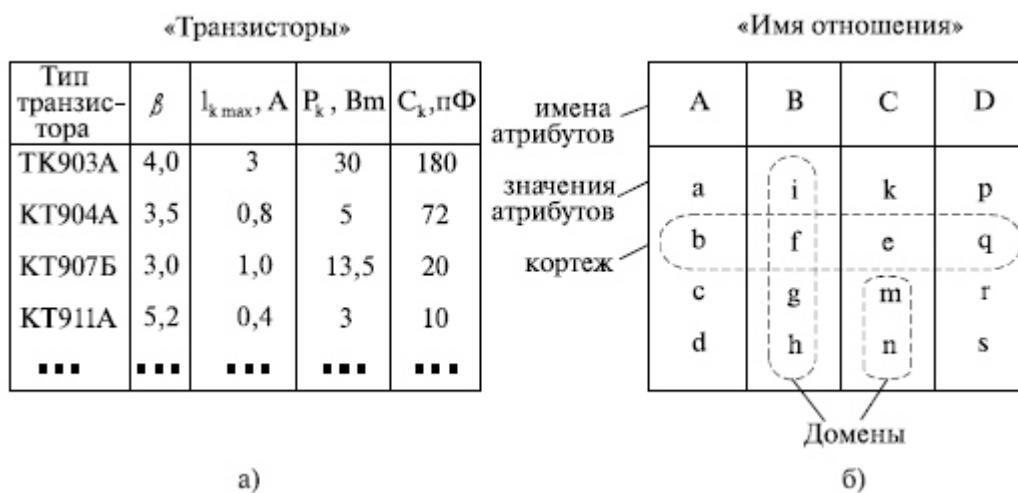


Рис. 3. Пример (а) и общий вид (б) реляционной модели данных

Это обеспечивает представление отношения "многие к многим". Сетевые структуры могут быть описаны с помощью раскрашенных файлов.

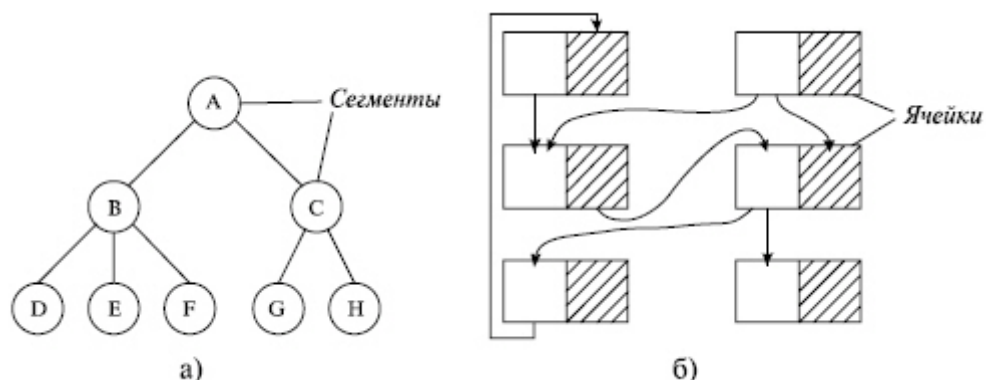


Рис. 4. Иерархическая (а) и сетевая (б) модели данных

Модели данных необходимо сравнивать по следующим показателям: легкость применения для программиста и пользователя, эффективность реализации по объему памяти и времени поиска информации.

Наиболее легка в использовании реляционная модель; сетевая требует от программиста и пользователя понимания типов записей, связей и их отношений. В то же время сетевая и иерархическая модели возникли исторически раньше и реализованы на языках низкого уровня (Ассемблер, Макрокод и др.). Примеры сетевых БД— КОДАСИЛ — ADABAS, Квант и др.; иерархической — IMS.

Реляционные базы данных реализованы на языках высокого уровня и в ряде стран приняты в качестве национального стандарта. К ним относятся ALPHA, QBE, RISS, SEQVEI, dBASE, FRAMEWORK.

### 3. Проектирование базы данных

Процесс разработки структуры БД на основании требований пользователя называют проектированием БД (ПБД). Результатами ПБД являются структура БД, состоящая из логических и физических компонент, и руководство для прикладных программистов.

Развитие системы БД во времени называют жизненным циклом. Последний делится на стадии анализа, проектирования и эксплуатации.

Первая стадия включает в себя этапы формулирования и анализа требований, концептуального проектирования, проектирования реализации, физического проектирования. Анализ требований является полностью неформализованным этапом. Его основная цель — обеспечить

согласованность целей пользователей и представлений об информационных потоках.

Вторая стадия состоит из этапов реализации БД, анализа функционирования и поддержки, модификации и адаптации.

Концептуальное проектирование обеспечивает выбор структуры организации информации на основе объединения информационных требований пользователей.

Проектирование реализации (логическое проектирование) разделяют на две части: проектирование базы данных и проектирование программ. Результатом первой части является логическая структура БД. Результатом второй части считают функциональные описания программных модулей и наборы запросов к БД.

Физическое проектирование разделяют также на две части: выбор физической структуры БД и отладку программных модулей, полученных при проектировании программ. Результатом этапа является подготовка к эксплуатации БД.

На этапе реализации БД ставится задача разработки программ доступа к БД.

Этап анализа функционирования и поддержки обеспечивает статистическую обработку данных о функционировании системы. Восстановление БД и ее целостности после сбоев обеспечивает поддержка БД.

Этап модернизации и адаптации позволяет производить изменения, оптимизацию функционирования, модификацию программ.

Языки, используемые в БД, делят на языки описания данных (ЯОД) и языки манипулирования данными (ЯМД).

В общем случае ЯОД описывает различные типы записей, их имена и форматы, а также служит для определения:

- типов элементов данных, которые нужны в качестве ключей;
- отношений между записями или их частями и именования этих отношений;
- типа данных, которые используются в записях;
- диапазона их значений;
- числа элементов, их порядка и т. п.;
- секретности частей данных и режимов доступа к ним.
- Различают три уровня абстракции для описания данных:
  - концептуальный (с позиции администратора);
  - реализации (с позиции прикладного программиста и пользователя);

- физический (с позиции системного программиста).

На концептуальном уровне описывают объекты, атрибуты и значения данных. На уровне реализации имеют дело с записями, элементами данных и связями между записями. На физическом уровне оперируют блоками, указателями, данными переполнения, группировкой данных.

Обычно ЯМД дают возможность манипулирования данными без знания несущественных для программиста подробностей. Они могут реализоваться как расширение языков программирования общего назначения путем введения в них специальных операторов или путем реализации специального языка.

При работе с БД используются несколько типов языков:

- манипулирования данными;
- программирования;
- описания физической организации данных.

Языки программирования, применяемые в БД, представляют собой распространенные языки типа ФОРТРАН, КОБОЛ и многие новые языки.

Языки описания логических схем пользователя реализуются средствами описания данных языка прикладного программирования, средствами СУБД, специальным языком.

Наиболее широко распространен первый способ описания. Он имеет в основе операторы объявления (например, DECLARE в языке PL/I, STRUCT в СИ, type в ADA).

Языки описания схем БД предназначены для администратора БД. С их помощью определяют глобальные описания данных.

Языки описания физической организации данных описывают физическую структуру размещения схемы на машинных носителях. С их помощью определяют методы доступа, предписывающие размещение данных на тех или иных носителях, и т. п.

Наибольшими преимуществами обладают специальные языки, так как они не зависят от используемых языков программирования или технических средств. Следовательно, при переносе БД на другое ТУ или смене языка программирования большинство описаний БД останется без изменения.

Процесс проектирования БД начинают с построения *концептуальной модели* (КМ). Концептуальная модель состоит из описания объектов и их взаимосвязей без указания способов физического хранения. Построение КМ начинается с анализа данных об объектах и связях между ними, сбора информации о данных в существующих и возможных прикладных программах. Другими словами, КМ — это модель предметной области. Версия КМ, обеспечиваемая СУБД, называется логической моделью (ЛМ).

Подмножества ЛМ, которые выделяются для пользователей, называются внешними моделями (подсхемами). Логическая модель отображается в физическую, которая отображает размещение данных и методы доступа. *Физическую* модель называют еще *внутренней*.

Внешние модели не связаны с используемыми ТС и методами доступа к *БД*. Они определяют первый уровень независимости данных. Второй уровень независимости данных связан с отсутствием изменений внешних моделей при изменении КМ.

Важным инструментом при разработке и проектировании *БД* является словарь данных (СД), предназначенный для хранения сведений об объектах, атрибутах, значениях данных, взаимосвязях между ними, их источниках, значениях, форматах представления. Словарь данных позволяет получить однообразную и формализованную информацию обо всех ресурсах данных.

Главное назначение СД состоит в документировании данных. Он должен обеспечивать централизованное введение и управление данными, взаимодействие между разработчиками любого проекта, например САПР. Существуют интегрированные и независимые СД. В первом случае СД — это часть пакета программ СУБД, а во втором — отдельный пакет программ в виде дополнения к СУБД.

В полном объеме СД обязан:

- поддерживать КМ, логическую, внутреннюю и внешнюю модели;
- быть интегрированным с *СУБД*, поддерживать тестовые и рабочие версии хранимых описаний;
- обеспечивать эффективный обмен информацией с *СУБД* и процесс изменения рабочей версии при изменении *БД*.

Словарь данных должен иметь свою *БД*. Основные составляющие *БД* словаря данных:

- атрибут;
- объект;
- групповой элемент данных;
- выводимый объект данных;
- синонимы, т. е. атрибуты, имеющие одинаковое назначение, но различные идентификаторы;
- омонимы, т. е. атрибуты с различным назначением, но с одинаковыми идентификаторами;
- описание КМ, ЛМ, внешних и внутренних моделей;
- описание, позволяющее пользователям формально и однозначно выбирать атрибуты для решения задач.

## Контрольные вопросы и упражнения

1. Что такое система данных?
2. Определите предметную область, объект, атрибут (элемент данных), значения данных и постройте таблицы связи между ними.
3. Что такое идентификаторы объекта и ключевые атрибуты?
4. Что такое запись данных? Приведите примеры.
5. Что такое файл данных (набор данных)?
6. Приведите пример взаимно однозначного соответствия между прикладными программами логического проектирования и файлами данных.
7. Какие проблемы возникают при обработке данных с несколькими файлами?
8. Приведите известные определения базы данных (БД).
9. В чем сходство и различие между БД и файлом?
10. Приведите основные определения системы управления базами данных (СУБД).
11. Опишите основные функции СУБД и требования к ним.
12. В чем заключается *информационная согласованность* в САПР?
13. Что такое функция администрирования БД и кто такой администратор БД (АБД)? Какие функции выполняет АБД?
14. Что такое независимость данных?
15. Какие языки используются в БД?
16. Что такое концептуальная модель (КМ)?
17. Приведите определение логической, внешней, внутренней (физической) моделей.
18. Что такое независимость данных?
19. Опишите иерархическую модель данных (ИМД). Постройте пример.
20. Опишите сетевую модель данных (СМД) и постройте пример.
21. Опишите реляционную модель данных (РМД) и постройте пример.